Ю. А. Шумихин

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АВТОМАТЫ

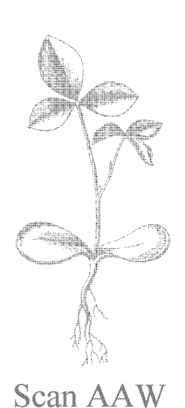
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 537

Ю. А. ШУМИХИН

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АВТОМАТЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.397.9
Ш96

Брошюра предназначена для ознакомления радиолюбителей с принципами построения автоматических телевизионных устройств (телевизионных автоматов) и возможностями их практического применения в промышленности и при проведении научных исследований.

Шумихин Юрий Артемьевич

Телевизионные автоматы. М.—Л., издательство «Энергия», 1964. 48 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 537).

Тематический план 1964 г., № 370

Редактор *В. Ф. Самойлов* Техн. редактор *В. Н. Малькова*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в производство 30/III 1964 г. Подписано к печати 25/V 1964 г.
Бумага 84×108 1/32, 2,5 печ. л., 3,3 уч.-изд. л.
Тираж 40 000 экз. Т-01373 Цена 13 коп. Заказ 1153

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Государственного комитета Совета Министров СССР по печати
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Телевидение прочно вошло в нашу жизнь. Миллионы людей проводят вечера у голубых экранов. На фабриках и заводах телевизионный глаз зорко наблюдает за производственными процессами. Космовидение переносит нас в звездные просторы к героям-космонавтам.

Необычайно широк круг задач, решаемых с помощью телевидения. Различны конструкции и схемы телевизионных устройств. Но в любом случае, говоря о телевидении, мы подразумеваем, что цель телевизионной передачи всегда одна и та же — показать зрителю (наблюдателю) интересующее его изображение. Однако сейчас от этого понятия в ряде случаев уже приходится отказываться. Появились новые телевизионные устройства, которые совсем не предназначаются для передачи изображений на расстояние: «телевизоры без зрителя», телевизионные автоматы. Правда, пока таких устройств еще немного. Но они уже начали свою жизнь, а потребность в них все более возрастает и в науке, и в промышленности.

Автоматизация производства — одна из основных областей, где телевизионные автоматы могут принести большую практическую пользу. В лаборатории ученого, в медицинском учреждении тоже может найтись место телевизионным автоматам, «наблюдающим» без участия человека за ходом разнообразных исследований.

Сведения о телевизионных автоматах уже появляются на страницах периодической печати, и, конечно, многим радиолюбителям будет интересно ознакомиться с этим новым направлением в телевизионной технике. Выпуская брошюру, в которой в какой-то мере систематизирован опубликованный материал по телевизионным автоматам, мы полагаем, что помещенные в ней сведения могут оказаться полезными тем радиолюбителям, которые занимаются конструкторской деятельностью в области применения радиоэлектроники для народного хозяйства.

Ю. Шумихин

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЧТО ТАКОЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ

1. КАК ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРЕОБРАЗУЕТСЯ В ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИГНАЛЫ

Любое телевизионное устройство работает по принципу преобразования потока лучистой энергии, идущей от изображения, в электрические сигналы, которые передаются по проводам или по радио и используются на приемной стороне для воспроизведения переданного изображения. Преобразование потока лучистой энергии в электрические сигналы в телевидении производится с помощью приборов, основанных на использовании фотоэлектронного эффекта.

Простейшими фотоэлектронными приборами являются фотоэлементы и фотосопротивления.

Сами по себе фотоэлементы и фотосопротивления еще нельзя назвать телевизионными устройствами. Любой отдельно взятый фотоэлемент реагирует на среднее значение потока лучистой энергии, идущего от объекта передачи. Если на фотоэлемент (фотосопротивление) приходит лучистый поток от изображения, содержащего участки различной яркости, то фотоэлемент не в состоянии образовать сигналы, характеризующие отдельные участки изображения.

Чтобы с помощью фотоэлектронных приборов преобразовать в электрические сигналы изображение, состоящее из ряда участков различной яркости, обычно используют принцип развертки.

Составим поле из ряда фотоэлементов (фотосопротивлений) и сфокусируем на это поле с помощью оптики (объектива) поток лучистой энергии, приходящей от изображения (рис. 1). Тогда на выходе каждого из фотоэлементов при включении его в цепь появится ток, пропорциональный среднему значению яркости небольшого участка изображения. Принцип развертки заключается в поочередной коммутации отдельных фотоэлементов на общее выходное сопротивление $R_н$. На выходе такого коммутатора образуется телевизионный сигнал. Значение этого видеосигнала в каждый момент времени соответствует значению яркости некоторого небольшого участка изображения. При этом следует заметить, что время передачи всего изображения (полное время развертки одного кадра) должно быть таким, чтобы изображение можно было считать практически неизменным.

На этом принципе строятся все передающие телевизионные трубки. Добавляется лишь емкостный накопитель энергии, который позволяет использовать для образования сигнала лучистую энергию, падающую на данный фотоэлемент не только в момент его соединения с коммутатором, но и за все остальное время. Коммутация

осуществляется внутри трубки электронным лучом. В зависимости от выбранного типа фотоэлемента (фотосопротивления) возможно построение передающих телевизионных трубок, которые могут воспринимать и преобразовывать в видеосигнал изображения, полученные не только в диапазоне видимых волн, но в диапазонах невидимых для глаза рентгеновых, ультрафиолетовых или инфракрасных лучей.

В телевизионных устройствах, используемых в промышленности и при проведении научных исследований, находит широкое применение одна из наиболее простых по конструкции передающих трубок, которая носит название видикон (рис. 2,*а*). Принцип действия такой

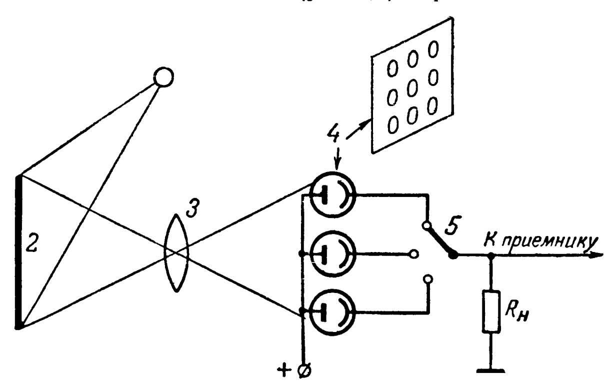


Рис. 1. Принцип фотоэлектронного преобразования.
1 — источник лучистой энергии; *2* — объект наблюдения; *3* — объектив; *4* — панель из фотоэлементов; *5* — коммутатор.

трубки основывается на использовании внутреннего фотоэлектронного эффекта. Основным элементом трубки является фотосопротивление, которое в виде тонкого слоя наносится на чрезвычайно тонкую металлическую пластину, носящую название сигнальной. С ее помощью к фотосопротивлению подводится необходимое для его работы напряжение от внешнего источника. В цепи сигнальной пластины находится также нагрузочное сопротивление $R_н$, с которого снимается сигнал изображения.

Внутри трубки установлены электронный прожектор и два анода, ускоряющие и фокусирующие электронный луч. Для фокусировки электронного луча на горловину трубки надевают фокусирующую катушку. Отклонение электронного луча по строкам и кадрам осуществляется с помощью катушек строчной и кадровой развертки.

Чтобы лучше понять работу трубки, рассмотрим процессы, происходящие в небольшом элементе фотосопротивления (рис. 2,*б*). Между сигнальной пластиной и правой стороной поверхности фотосопротивления имеется небольшая емкость $C_э$, параллельно которой подсоединено активное сопротивление слоя фотосопротивления $R_э$. Величина этого сопротивления зависит от освещенности данного элемента фотосопротивления. Чем выше освещенность, тем меньше

сопротивление $R_э$. Уменьшение этого сопротивления с ростом освещенности физически объясняется тем, что внутри фотосопротивления под воздействием света образуется то или иное количество электронов, потерявших связь с кристаллической решеткой и способных образовывать ток под воздействием приложенного напряжения.

Коммутирующий электронный луч, подходя к данному элементу фотосопротивления, как бы накоротко соединяет его с катодом электронного прожектора, в результате чего правой обкладке эле-

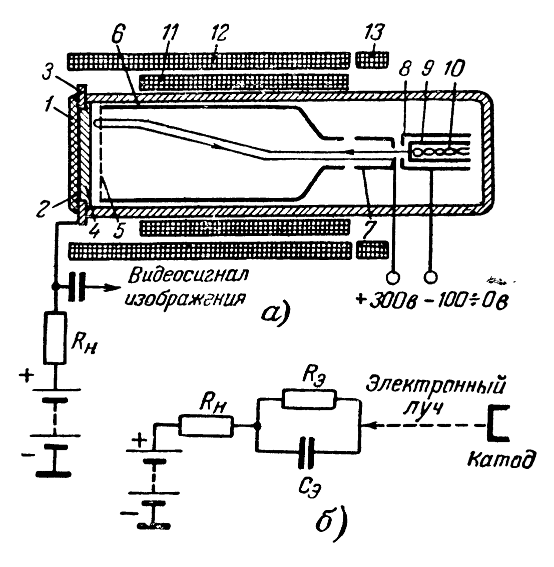


Рис. 2. Передающая телевизионная трубка типа видикон.

1 — стекло; *2* — сигнальная пластина; *3* — металлическое кольцо; *4* — фотосопротивление; *5* — сетка; *6* и *7* — аноды; *8* — управляющий электрод; *9* — катод; *10* — нить накала; *11* — отклоняющие катушки; *12* — фокусирующая катушка; *13* — корректирующая катушка.

ментарного конденсатора сообщается потенциал катода, равный нулю. После того как под воздействием катушек развертки коммутирующий луч уйдет с данного элемента фотосопротивления, электроны, находящиеся в толще фотосопротивления, начнут перемещаться к положительному полюсу источника питания. В результате этого на правой стороне поверхности фотосопротивления будет образовываться положительный потенциал, вызванный недостатком электронов. На элементарной емкости $C_э$ при этом будут накапливаться заряды. Чем больше будет освещенность фотосопротивления, тем больше зарядов накопится на емкости $C_э$ за время между двумя моментами коммутации, равное периоду кадра.

Если теперь посмотреть на фотосопротивление в целом, то окажется, что за период кадра на разных элементарных емкостях будут накоплены различные заряды, величины которых зависят от сопротивления элементарных участков $R_э$ или в конечном счете от освещенности отдельных участков фотосопротивления. За счет накопления зарядов различной величины на правой стороне фотосопротивления образуется совокупность потенциалов разной величины, составляющих, как говорят, потенциальный рельеф.

Коммутирующий электронный луч, обегая фотосопротивление, поочередно разряжает элементарные конденсаторы $C_э$. Ток разряда элементарных конденсаторов тем больше, чем больше накопленное на конденсаторе напряжение. Этот ток проходит через нагрузочное сопротивление $R_н$, образуя на нем сигнал телевизионного изображения.

Трубка типа видикон, несмотря на свою простоту, имеет достаточно высокую чувствительность, позволяющую работать в условиях естественного освещения Четкость телевизионного изображения получается примерно такой же, как и при использовании более сложных трубок.

Известным недостатком видикона является его инерционность, приводящая к «запоминанию» на некоторое время уже переданного изображения и наложению его на новые изображения. Этот недостаток ограничивает возможность применения видикона при передаче быстро меняющихся сюжетов. Однако во многих прикладных телевизионных установках, для которых не возникает необходимости передачи быстро меняющихся сюжетов, видикон успешно конкурирует с другими, более совершенными передающими трубками. Так, например, в СССР выпускается ряд промышленных телевизионных установок (ПТУ-0, ПТУ-1 и др.), в которых используются трубки типа видикон.

В прикладном телевидении находит также широкое распространение способ построения передающего телевизионного устройства с использованием так называемого метода бегущего луча. Установки этого вида применяются для передачи телевизионных изображений с фотопленки, а также печатного текста, фотографий, документов, чертежей и т. п.

Схема установки, работающей по методу бегущего луча, показана на рис. 3. Здесь в качестве точечного источника света используется яркое малоразмерное световое пятно *6*, образующееся на экране кинескопа *1* при бомбардировке его электронным потоком.

Допустим сначала, что это световое пятно неподвижно. С помощью объектива оно фокусируется на поверхности фотопленки или документа *3*. Далее возможны два варианта: работа на просвет и работа на отражение. Работа на просвет производится при передаче изображений с фотопленки, через которую проходит световой луч. Величина светового потока за фотопленкой зависит от прозрачности того элемента изображения, на который падает световой луч. Чем больше потемнение фотопленки, тем меньше световой поток за нею. Этот световой поток собирается специальной линзой, называемой конденсором (сгустителем) *4* и направляется на фотокатод фотоэлемента или фотоэлектронного умножителя *5*. Чем больше световой поток, тем больше ток на выходе фотоэлектронного прибора. Но в данном случае величина светового потока за фотопленкой зависит от ее прозрачности Следовательно, выходной

сигнал будет пропорционален прозрачности фотопленки на участке просвечивания ее световым лучом.

А теперь представим себе, что с помощью отклоняющей системы кинескопа световое пятно на его экране приведено в движение по строкам и по кадру (как и в обычном телевизоре, но с той разницей, что яркость светового пятна остается все время постоянной). Теперь световое пятно, сфокусированное на поверхности фотопленки, будет развертываться по строкам и по кадру, поочередно просвечивая отдельные участки фотопленки. Световой поток за фотопленкой будет непрерывно изменяться в соответствии с законом распределения светлых и темных участков изображения, записанного на

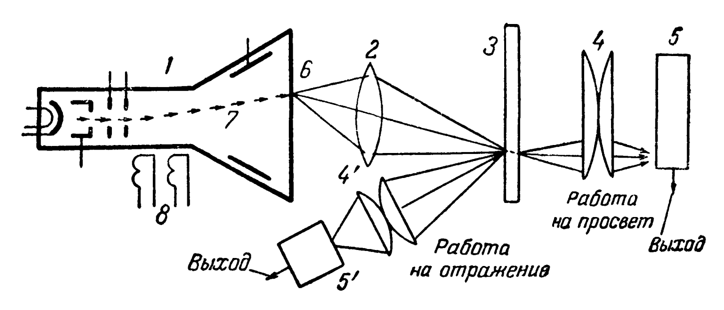


Рис. 3. Метод бегущего луча.

1 — кинескоп; *2* — объектив; *3* — наблюдаемый предмет; *4* — конденсор; *5* — фотоэлектронный прибор; *6* — световое пятно на экране кинескопа; *7* — электронный луч; *8* — отклоняющие катушки.

фотопленке А, следовательно, и ток на выходе фотоэлектронного прибора будет изменяться пропорционально освещенности отдельных участков фотопленки. Так будет получен телевизионный сигнал, соответствующий характеру изображения, записанного на фотопленку.

Если нужно передать изображение с листа бумаги или какого-нибудь документа, то система работает не на просвет, а на отражение. Чем светлее участок изображения, тем больше будет отраженный от него световой поток. Этот световой поток также улавливается конденсором *4′* и поступает на вход фотоэлектронного прибора *5′*. В остальном работа устройства не отличается от работы на просвет.

Телевизионные установки, работающие по методу бегущего луча, находят широкое применение при передаче кинофильмов, а также при использовании телевидения для решения многочисленных прикладных задач.

2. ЗАЧЕМ НУЖЕН ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ

Рассмотрев кратко некоторые варианты построения телевизионных преобразователей, мы можем сделать вывод, что для преобразования изображения в телевизионный сигнал необходим фотоэлектронный прибор, дополненный системой развертки изображения. На-

личие фотоэлектронного преобразователя и системы развертки является характерной чертой любой телевизионной системы.

Представим себе теперь, что на заводе решили поставить телевизионную установку для наблюдения за деталями, находящимися на конвейере, и подсчета их количества. Для решения этой задачи можно было бы, например, использовать промышленную телевизионную установку (ПТУ), которая состоит из передающей телевизионной камеры и соединенного с ней посредством экранированного кабеля телевизионного приемника (*4* и *10* на рис. 4). Если по тем

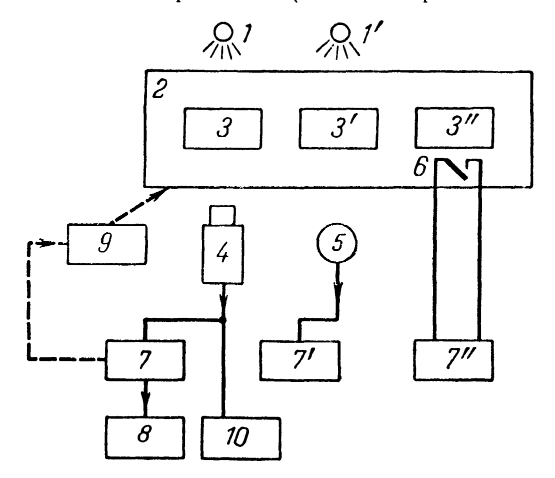


Рис. 4. Способы построения счетчика деталей на конвейере.

1 — источник света; *2* — конвейер; *3* — детали; *4* — передающая телевизионная камера; *5* — фотоэлемент; *6* — контактная группа; *7* — счетная схема, *8* — регистрирующее устройство; *9* — исполнительный механизм; *10* — телевизионный приемник.

или иным причинам диспетчер не может находиться в непосредственной близости к конвейеру, то применение телевизионной системы, позволяющей вести наблюдение вдали от конвейера, можно считать целесообразным. Правда, подсчет однотипных деталей, идущих по конвейеру,— занятие весьма утомительное. Поэтому возникает вопрос: нельзя ли автоматизировать процесс счета деталей. Ведь на выходе передающей камеры получается видеосигнал, который претерпевает определенные изменения при появлении очередной детали в поле зрения передающей камеры. Эти-то изменения видеосигнала и можно использовать в электронной счетной схеме, которая определяла бы количество деталей, прошедших по конвейеру. На выходе телевизионного устройства можно поставить какой-либо автоматический регистратор, отмечающий количество деталей, прошедших по конвейеру.

Мы составили схему телевизионного устройства, в котором имеются передающая телевизионная камера *4* и канал передачи видео-

сигнала, но вместо обычного телевизионного приемника *10* с кинескопом (или другим прибором, создающим видимое изображение сюжета передачи) здесь установлены автоматическая счетная схема *7* и автоматический регистратор *8*. В случае необходимости сигналы с выхода счетной схемы могут подаваться на исполнительный механизм *9*, обеспечивающий, например, автоматическое управление скоростью движения ленты конвейера

Составленное таким образом устройство можно назвать «телевизионным автоматом», так как здесь, с одной стороны, используется принцип телевизионного преобразования изображения в электрические сигналы, а с другой применяется автоматическая регистрация результатов телевизионного наблюдения. При этом на выходе телевизионной системы получается не изображение сюжета передачи, а сигналы, характеризующие определенные свойства или признаки этого сюжета. В рассматриваемом случае, например, телевизионный автомат дает ответ о числе деталей, проходящих по конвейеру в единицу времени. Совершенствуя схему телевизионного автомата, можно было бы определять и другие качества или свойства объектов, попадающих в поле зрения передающей камеры (цвет, размер, конфигурацию и т. п.).

Построение телевизионного автомата для счета числа деталей, проходящих по конвейеру, является задачей, технически вполне осуществимой. Однако посмотрим, нельзя ли эту задачу решить каким-либо другим, более простым путем. Действительно, ведь поставленная задача довольно проста: при прохождении каждой детали должен быть выработан электрический сигнал, приводящий в действие счетчик. В этом случае телевизионную камеру можно заменить фотоэлементом или фотосопротивлением, а с противоположной стороны конвейера расположить источник света *1′*. Тогда при прохождении по конвейеру очередной детали световой поток, падающий на фотоэлемент *5*, будет прерываться, что приведет к прерыванию тока в цепи фотоэлемента.

Включим в цепь фотоэлемента реле и отрегулируем его так, чтобы контакты реле размыкались всякий раз, когда луч света прерывается при прохождении деталей. Это обстоятельство можно использовать для построения счетной схемы *7′*, работающей таким образом, что при каждом размыкании контактов показания счетчика увеличиваются на единицу. Рассматриваемое устройство можно отнести к классу весьма распространенных устройств, которые называются фотоэлектронными реле (или фотореле) и содержат в качестве чувствительных элементов фотоэлектронные приборы.

Итак, в рассматриваемом случае можно обойтись и без телевизионного автомата, поскольку автоматический счет деталей, идущих по конвейеру, можно производить с помощью более простого устройства — фотоэлектронного реле. Но нельзя ли обойтись и без фотореле? Действительно, можно представить себе еще более простое устройство, состоящее из контактной группы *6* и счетчика импульсов *7″*. Деталь, проходя по конвейеру, нажимает на контактную группу, в результате чего счетчик срабатывает и его показания увеличиваются на единицу.

Однако далеко не всегда такое решение задачи может оказаться приемлемым. Так, например, из-за вибраций деталей на конвейере могут получиться пропуски в срабатывании контактной группы. В других случаях, например при счете полированных деталей, со-

прикосновение с контактной группой может вызывать появление дефектов на поверхности детали. Таким образом, при счете движущихся деталей применение фотоэлектронного реле, не имеющего непосредственного контакта с объектом наблюдения, вполне целесообразно.

Фотоэлектронные реле находят широкое применение в разнообразных системах автоматической сигнализации, контроля и регулирования. С помощью фотореле можно автоматически сортировать материалы и изделия по размерам, форме, цвету, измерять и регулировать температуру, давление, влажность, вязкость, твердость, скорость вращения, уровень жидкости или сыпучего тела, расход жидкости или газа, концентрацию, вес и плотность вещества Каждый из нас ежедневно встречается с фотоэлектронными автоматами: в метро при проходе через турникет, при покупке газеты у автоматического «продавца». Фотоэлектронные автоматы отпускают газированную воду, бутерброды, включают уличное освещение.

Однако в ряде более сложных случаев возможности фотореле оказываются ограниченными, и тогда возникает потребность в телевизионном автомате. Какие же задачи, трудные или непосильные для фотоэлектронных реле, могут решать телевизионные автоматы? Приведем ряд примеров

Сейчас приобретает большое практическое значение задача автоматического распознавания содержания тех или иных изображений. Устройство, автоматически распознающее письменный или печатный текст, может быть, например, использовано для построения системы, которая набирает газету или книгу в типографии, сортирует письма или печатает текст телеграммы на почте, переводит с одного языка на другой и т. п. При построении таких «читающих» устройств изображение преобразуется в электрические сигналы. Используя те или иные особенности этих сигналов, удается затем распознать с помощью электронно-вычислительных схем содержание изображения.

Характерной особенностью таких изображений, как, например, лист машинописного или печатного текста, является их сложность или, как говорят, большое количество заключенной в них информации. Если текст написан обычными чернилами или напечатан обычной типографской краской, то преобразование его в электрические сигналы возможно лишь при использовании фотоэлектронных приборов. Ввиду большого количества информации, содержащейся в изображении, применение отдельных фотоэлементов или даже целой системы фотоэлементов в рассматриваемом случае не всегда может дать удовлетворительное решение задачи преобразования изображения в электрический сигнал Действительно, чем сложнее изображение, предлагаемое для автоматического распознавания, тем большее количество фотоэлементов требуется для образования сигналов, характеризующих отдельные детали изображения. Поэтому в «читающих» устройствах преобразование изображения в электрические сигналы обычно осуществляется с помощью телевизионных преобразователей. Использование принципа телевизионной развертки устраняет трудности, связанные с анализом сложного изображения и преобразованием его в электрические сигналы.

В устройстве для автоматического распознавания изображений телевизионный автомат обеспечивает анализ изображения и преоб-

разование его в такие электрические сигналы, которые являются «носителями» характерных признаков изображения. Электронно-вычислительная схема использует сведения о характерных признаках анализируемого изображения и дает ответ о виде изображения, предъявленного для распознавания. Таким образом, здесь мы имеем дело с таким телевизионным преобразователем, в котором автоматическая схема «извлекает» из изображения только те признаки, которые необходимы для решения определенной конкретной задачи (в данном случае — задачи распознавания изображения).

С помощью телевизионного автомата можно решить и такую задачу, как, например, подсчет огромного количества мельчайших частиц, наблюдаемых под микроскопом. Никакие фотоэлектронные реле не могут справиться с этой задачей, когда сотни и тысячи частиц одновременно попадают в поле зрения микроскопа. Только применение принципа телевизионной развертки позволяет решить задачу автоматического подсчета многочисленных объектов.

Приведенные примеры позволяют сделать вывод, что применение телевизионных автоматов целесообразно в тех случаях, когда ввиду большого объема информации, поступающей на вход автоматической системы, становится трудным или практически невозможным применение отдельных фотоэлектронных реле или систем, составленных из ряда фотореле. В других случаях (например, при решении задачи автоматического определения диаметра тонкой проволоки) переход от фотореле к телевизионному автомату диктуется необходимостью увеличения точности измерений. Наконец, могут представиться и такие случаи, когда применение телевизионного автомата вместо фотореле позволяет избавиться от громоздких переключающих и других механических устройств. Но в любом случае применение телевизионного автомата освобождает человека от производства многочисленных, порой весьма утомительных операций, позволяет автоматизировать производственные процессы и повысить производительность труда.

3. ИЗ КАКИХ УЗЛОВ СОСТОИТ ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ

Автоматические телевизионные устройства, так же как и фотореле, относятся к числу устройств бесконтактного съема информации. Они обладают высоким быстродействием и могут воспринимать изображения, сформированные в диапазонах рентгеновых, ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных волн.

Надо сразу сказать, что телевизионные автоматы весьма серьезно отличаются от обычных телевизионных систем с визуальным наблюдением. Основное различие заключается в том, что в системе телевизионного автомата изображение, преобразованное с помощью телевизионного преобразователя в электрические сигналы, подвергается специальной обработке. Целью этой обработки является «извлечение» из всего объема информации только той ее части, которая является существенно необходимой для решения задачи, поставленной перед телевизионным автоматом. При этом может происходить «разрушение» изображения, так что визуальное наблюдение изображения на выходе телевизионного автомата далеко не всегда оказывается возможным.

С помощью телевизионного автомата из наблюдаемого изображения могут быть «извлечены» такие признаки, как количество и координаты наблюдаемых объектов, их конфигурация, цвет, взаимное расположение, линейные размеры, области одинакового значения того или иного параметра и т. п «Носителями» выделенных признаков изображения в телевизионном автомате являются электрические сигналы. Эти сигналы часто используются для целей автоматического контроля и управления.

С учетом сказанного можно составить общую схему телевизионного автомата (рис 5) Датчиком этой системы является передающее телевизионное устройство *3*, содержащее фотоэлектронный преобразователь и схему развертки изображения. На выходе пере-

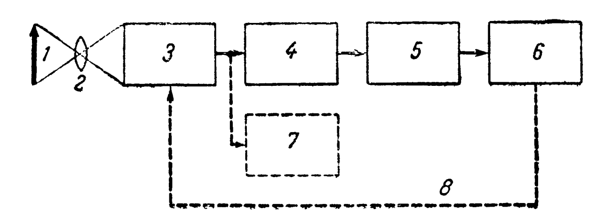


Рис. 5. Функциональная схема телевизионного автомата.

1 — объект телевизионного наблюдения; 2 — объектив; 3 — передающее телевизионное устройство; 4 — блок автоматической обработки сигнала; 5 — выходное устройство; 6 — система автоматического контроля или управления; 7 — видеоконтрольное устройство; 8 — обратная связь (в замкнутой системе телевизионного автомата).

дающего телевизионного устройства получаются электрические сигналы, которые несут на себе информацию о разнообразных признаках и свойствах наблюдаемого изображения. Блок автоматической обработки сигнала *4* воспринимает всю эту информацию и «извлекает» из нее сведения только о тех признаках или свойствах наблюдаемого изображения, которые существенно необходимы для выполнения задачи, поставленной перед телевизионным автоматом. Вся прочая информация отсеивается. Блок автоматической обработки содержит какую-либо измерительную или счетную схему. В наиболее сложных случаях автоматическая обработка сигнала производится с помощью электронно-вычислительной машины. На выходе блока автоматической обработки получаются сигналы, которые являются носителями свойств или признаков изображения, знание которых необходимо по условиям работы телевизионного автомата. Эти сигналы поступают в выходное устройство *5*, где они приводятся к виду, удобному для ввода в систему контроля или управления *6*. Следует сказать, что в некоторых случаях функции управляемого устройства выполняет сама передающая телевизионная камера (через линию обратной связи *8*). По такому принципу был построен, например, следящий телевизионный телескоп, автоматически наблюдающий за выбранной звездой. Автоматическая система в таких случаях получается замкнутой.

Говоря о характерных особенностях схемы телевизионного автомата, мы должны отметить, что ее обязательными составными частями являются фотоэлектронный преобразователь, схема развертки изображения и блок автоматической обработки сигнала. В то же время имеются многочисленные фотоэлектронные устройства, которые по установившейся терминологии не относятся к числу телевизионных, но, так же как и телевизионные автоматы, содержат фотоэлектронные преобразователи, схемы развертки изображения (называемые иногда сканирующими устройствами[1]) и блоки автоматической обработки сигнала. К их числу относятся, например, координаторы фотоэлектронных следящих систем, работающих в диапазоне инфракрасных волн. В таких устройствах производятся механическая или электронная развертка изображения и преобразование его в электрические сигналы с помощью фотоэлектронного преобразователя. На выходе блока автоматической обработки получаются сигналы, которые могут нести на себе, например, информацию о координатах наблюдаемых объектов.

По сути дела как телевизионные автоматы, так и все прочие сканирующие устройства, содержащие фотоэлектронные преобразователи, схемы развертки и блоки автоматической обработки сигнала, следует отнести к одному и тому же виду фотоэлектронных устройств. Этому виду фотоэлектронных устройств можно было бы, например, дать название сканирующих фотоэлектронных устройств с автоматической обработкой сигнала изображения или, короче, сканирующих фотоэлектронных автоматов. Общим для этих устройств и телевизионных систем являются применение развертки изображения (сканирования) и использование фотоэлектронных приборов для преобразования изображения в электрические сигналы. Отличием этих устройств от телевизионных является наличие автоматической обработки сигнала, после которой изображение уже не восстанавливается в первоначальной форме, но из него извлекаются наиболее существенные признаки и свойства.

Визуальное наблюдение изображения при работе телевизионного автомата не является обязательным. Однако в некоторых случаях все же устанавливают вспомогательное видеоконтрольное устройство[2] (естественно, его надо включить до блока обработки сигнала). С помощью этого устройства осуществляют визуальное наблюдение за общей картиной и выбирают в случае необходимости тот из ее участков, от которого должна поступать информация на вход телевизионного автомата.

Те из телевизионных автоматов, сведения о которых имеются в литературе, можно разделить на две группы: 1) телевизионные автоматы — измерители и счетчики, которые могут использоваться для автоматического измерения размеров и координат объектов, для измерения распределения температуры и других физических величин в отдельных зонах плоскостных и пространственных объ-

---

[1] Под термином «сканирование» понимают осуществление обзора некоторой области пространства путем поочередного осмотра отдельных ее участков.

[2] Видеоконтрольным устройством называют телевизионный приемник, с помощью которого контролируется качество передаваемого изображения.

ектов, а также для счета каких-либо частиц и деталей; 2) телевизионные автоматы, входящие в состав устройств автоматического распознавания изображения («читающих» устройств). Эти телевизионные автоматы предназначаются для «извлечения» из изображений объектов тех или иных характерных признаков, знание которых позволяет электронно-вычислительным устройствам решать задачу автоматического определения типа объекта, предъявленного для распознавания «читающей» машине.

Перейдем к рассмотрению принципов действия и устройства телевизионных автоматов различных типов.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АВТОМАТЫ — ИЗМЕРИТЕЛИ И СЧЕТЧИКИ

4. ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ ИЗМЕРЯЕТ РАЗМЕРЫ

Как уже указывалось, с помощью телевизионных автоматов можно производить измерения размеров объектов, счет количества частиц или деталей. Телевизионные методы наблюдения, контроля и измерений сейчас широко применяются в промышленности, обеспечивая решение задач комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Телевизионные установки играют важную роль при управлении производственными процессами, в особенности при работе на больших производственных участках и в местах, где деятельность наблюдателя затруднена или небезопасна.

Можно рассмотреть в качестве примера задачу создания измерительного устройства, обеспечивающего непрерывный контроль размеров поперечного сечения какого-либо материала. Надо сказать, что эта задача представляет значительный интерес для многих отраслей промышленности. Но при решении ее возникает ряд трудностей, в особенности если требуется производить измерение поперечного сечения тонких проволок, нитей и т. п. Когда контролю подвергаются металлические провода, а по условию задачи оказывается допустимым применение скользящих контактов, то весьма удобным является метод измерений, основанный на определении активного сопротивления сменяющихся участков провода. Но при этом возникают серьезные затруднения, связанные с тем, что сопротивления самих контактов меняются с течением времени.

При измерении поперечного сечения тонких проволок применение скользящих контактов становится нежелательным или невыполнимым. Если же задача решается для общего случая контроля поперечного сечения любых движущихся материалов (как проводниковых, так и непроводниковых), то становится целесообразным применение бесконтактного способа измерений с помощью фотоэлектронных приборов. Можно, например, собрать схему, в которой проволока *2* располагается между источником света *1* и фотоэлементом *4* (рис. 6,*а*). Так как в этом случае величина светового потока, падающего на фотоэлемент, будет зависеть от толщины провода, величина тока в цепи фотоэлемента окажется пропорциональ-

ной толщине проволоки. Однако точность этого метода измерений не может быть значительной, особенно при малых размерах поперечного сечения. Достаточно небольшого колебания силы света источника или изменения чувствительности фотокатода, и результат измерений сильно изменится.

Посмотрим, что может дать здесь применение телевизионного метода. С помощью оптической системы *3* спроектируем на фотокатод передающей трубки *5* изображение протягиваемой проволоки *2* (рис. 6,*б*). Путем выбора соответствующей оптики можно получить значительное увеличение изображения, проектируемого на фотокатод. Для решения поставленной задачи развертку изображения достаточно производить только по одной строке в направлении,

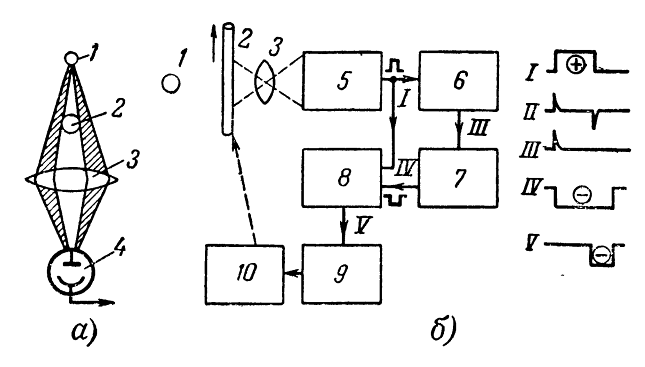


Рис. 6. Фотоэлектронные способы измерения толщины проволоки.

1 — источник света; *2* — проволока; *3* — объектив; *4* — фотоэлемент; *5* — передающая камера; *6* — схема формирования запускающего импульса; *7* — мультивибратор-датчик образцового импульса; *8* — схема сравнения; *9* — измерительная схема; *10* — исполнительный механизм

перпендикулярном положению проволоки (такая развертка называется однострочной). При каждом очередном цикле развертки на выходе передающей трубки будут получаться прямоугольные импульсы с длительностью, пропорциональной диаметру проволоки. Если проволока движется, то все отклонения ее толщины от заданного значения будут немедленно регистрироваться телевизионной системой как изменения длительности выходных импульсов.

Можно построить полностью автоматизированную систему контроля толщины проволоки, например, с помощью электронной схемы *8*, которая производит сравнение длительности рабочего импульса, полученного при однострочной развертке, с заданной длительностью образцового импульса, пропорциональной заданному (номинальному) значению диаметра проволоки.

Образцовый и рабочий импульсы удобно сравнивать по длительности, если они начинаются в одно и то же время. Этого можно добиться, если путем дифференцирования выделить импульс *III*, соответствующий переднему фронту рабочего импульса *I*, и осуществить им запуск ждущего мультивибратора *7*, вырабатывающего

образцовый импульс постоянной длительности *IV*. Если на схему сравнения *8* подавать рабочий и образцовый импульсы противоположной полярности, то при равенстве их длительностей выходное напряжение будет равно нулю При отклонении длительности рабочего импульса от номинального значения на выходе схемы сравнения будут получаться положительные или отрицательные импульсы *V* с длительностью, пропорциональной величине отклонения диаметра проволоки от номинального значения. Сигналы, полученные на выходе схемы сравнения *8*, позволяют привести в действие измерительное устройство *9* или же исполнительный механизм *10*, регулирующий диаметр протягиваемой проволоки

Основной выигрыш, который получается в рассматриваемом случае при применении телевизионного устройства вместо фотоэлемента, заключается в увеличении точности измерений. Во-первых, здесь возможно значительное увеличение размеров изображения по сравнению с размерами наблюдаемого объекта (благодаря применению оптики и электронных устройств для увеличения масштаба). Во-вторых, устройство может быть сделано малочувствительным к колебаниям яркости источника освещения и изменениям питающих напряжений, если, например, выходные импульсы передающей трубки и образцовые импульсы уравнивать по амплитуде с помощью амплитудного ограничителя Наличие амплитудного ограничения сигналов не отразится на работе устройства, так как в рассматриваемом случае «носителем» полезной информации является длительность, а не амплитуда импульсов.

При горячей обработке металлов (например, при прокате стальных листов) часто требуется производить контроль линейных размеров прокатываемого материала. Эта задача может быть выполнена с помощью телевизионной аппаратуры, в том числе с помощью телевизионных автоматов.

При использовании видеоконтрольного устройства измерение ширины прокатываемого листа производится визуально с помощью масштабной линейки, наложенной на экран, или полученной в виде электронных меток на телевизионном растре. Иногда используют масштабную линейку, расположенную непосредственно у объекта, размеры которого измеряются.

Для автоматического измерения ширины проката можно использовать уже описанный метод, т. е. производить сравнение длительности импульса, полученного на выходе телевизионной камеры, с длительностью образцового импульса. Однако если ширина проката велика, то приходится значительно удалять камеру, что приводит к уменьшению масштаба изображения и уменьшению точности измерений.

При большой ширине проката переходят к использованию двух телевизионных камер (*1* и *2* на рис. 7), расположенных симметрично над краями прокатываемого листа *5*. Лист освещается с обратной относительно камер стороны. В каждой камере развертка ведется всего лишь по одной строке, перпендикулярной направлению движения листа. Этого вполне достаточно, так как развертка изображения в другом направлении совершается за счет механического перемещения прокатываемого листа. Развертки в обеих камерах происходят синхронно слева направо.

При начальной регулировке схемы можно добиться того, чтобы на выходе камеры *1* появлялся положительный импульс при

развертке изображения на освещенной части фотокатода передающей трубки, а на выходе камеры 2 — отрицательный импульс (с такой же амплитудой) при развертке на затемненной части фотокатода. Положение камер можно отрегулировать так, чтобы при нормальной ширине листа на выходах камер появлялись импульсы одинаковой длительности, но разной полярности. При этом результирующее напряжение на выходе сумматора импульсов 3 будет равно нулю, так как при синхронных развертках эти импульсы

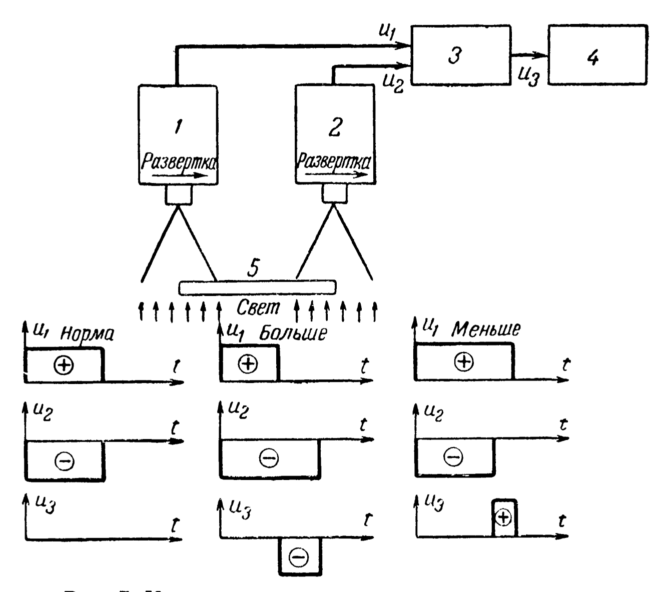


Рис. 7. Установка для контроля ширины проката.

1 и *2* — передающие телевизионные камеры; *3* — сумматор; *4* — измерительное устройство; *5* — лист проката.

совпадают во времени. Если ширина листа увеличится, то длительность положительного импульса на выходе первой камеры уменьшится, а длительность отрицательного импульса на выходе второй камеры увеличится. Следовательно, на выходе сумматора 3 появится результирующий отрицательный импульс.

При уменьшении ширины листа на выходе сумматора появится результирующий положительный импульс. Длительность выходного импульса будет пропорциональна отклонению ширины листа от нормальной, а полярность импульса определится в зависимости от уменьшения или увеличения ширины листа по сравнению с нормальной. При использовании двух передающих камер отпадает необходимость в формировании образцового импульса постоянной длительности.

Если ширина листа будет нормальной, но произойдет некоторый сдвиг листа в поперечном направлении, то длительности импульсов

на выходах обеих камер изменятся на одинаковую величину. Напряжение на выходе сумматора при этом останется равным нулю.

Выходное напряжение сумматора может быть использовано для приведения в действие измерительного прибора *4* или исполнительного устройства системы автоматического управления прокатным станом.

Итак, мы познакомились с двумя типами телевизионных автоматов, предназначенных для измерения линейных размеров объектов. Основной практический выигрыш, который получается благодаря применению таких автоматов, заключается прежде всего в возможности автоматизации производственных процессов, а также улучшения качества продукции ввиду наличия непрерывного и точного автоматического контроля.

5. ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ ОПРЕДЕЛЯЕТ КООРДИНАТЫ

С помощью телевизионного автомата можно производить также измерение координат каких-либо объектов. Такая задача часто встречается при проведении научных исследований. Например, для астронома было бы чрезвычайно полезно устройство, которое могло бы в течение длительного времени автоматически следить за интересующей его звездой.

Рассмотрим два варианта построения таких телевизионных автоматов. В одном из них используется простая по конструкции передающая трубка, называемая диссектором, а в другом — передающая трубка типа видикон.

В следящей системе первого типа (рис. 8) изображение наблюдаемой звезды проектируется с помощью объектива *О* на фотокатод *К* трубки *1*. Под воздействием света из фотокатода вылетают электроны под различными углами к плоскости фотокатода. Эти электроны попадают в пространство, где действуют электрическое поле ускоряющего анода *А* и магнитное поле фокусирующей катушки *ФК*. Электрическое и магнитное поля действуют подобно линзе, собирая все электроны, вылетевшие из фотокатода, в одну точку, называемую фокусом. Если в том месте, где находится фокус электронной линзы, поставить люминесцентный экран (такой же, как экран обычного кинескопа), то под воздействием электронной бомбардировки на нем появится световое изображение наблюдаемой звезды. Можно сказать, что изображение звезды с помощью электронного потока «переносится» с фотокатода на экран. Поэтому описанный процесс называется переносом «электронного изображения».

В специальной трубке, используемой в следящем устройстве, люминесцентный экран отсутствует, а на его месте располагается электрод с круглым центральным отверстием — диафрагмой *Д*. Электронный поток, пройдя через диафрагму, попадает на первый анод электронного умножителя *ЭУ*. Под воздействием электронной бомбардировки с поверхности анода выбиваются так называемые вторичные электроны, причем на каждый первичный электрон приходится несколько вторичных. Вторичные электроны ускоряются электрическим полем второго анода, бомбардируют его и тоже выбивают вторичные электроны От анода к аноду нарастает элек-

тронный поток. Выходной сигнал снимается с нагрузочного сопротивления, стоящего в цепи последнего анода электронного умножителя

В рассматриваемом случае умножитель имеет 16 каскадов, а общий коэффициент его усиления составляет 10 млн. Вот почему даже при слабом оптическом изображении далекой звезды можно получить достаточно большой сигнал на выходе трубки.

Трубка имеет катушки *КГ* и *КВ* для горизонтального и вертикального отклонения электронного луча, идущего от фотокатода

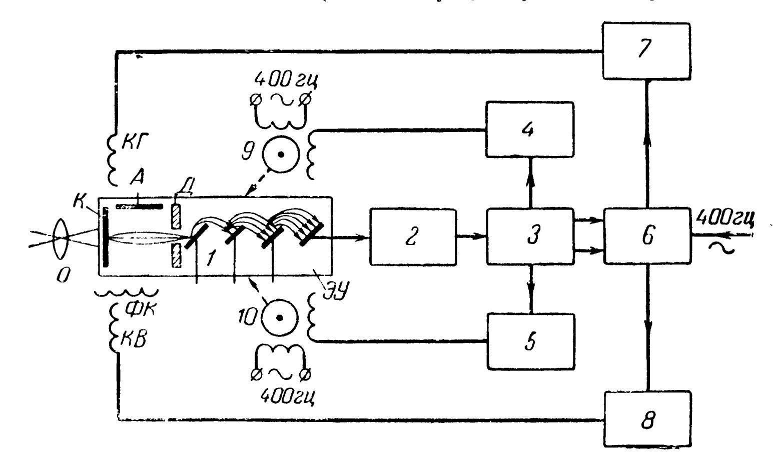


Рис. 8. Следящая система с диссектором.

1 — диссектор; *2* — видеоусилитель; *3* — коммутирующее устройство; *4* и *5* — схемы формирования и усиления управляющих сигналов; *6* — генераторы разверток; *7* — усилитель горизонтальной отклоняющей системы; *8* — усилитель вертикальной отклоняющей системы; *9* — двигатель системы управления по горизонтали; *10* — двигатель системы управления по вертикали.

к электронному умножителю. Отклоняющие катушки питаются током треугольной формы (рис. 9), частота которого в практически разработанной системе была выбрана равной 400 *гц*. Если наблюдаемый объект находится на продолжении оптической оси трубки, то при отсутствии отклоняющих токов электронный поток от фотокатода проходит через центр диафрагмы. Треугольный импульс тока, поступив в катушки горизонтального отклонения, создает вокруг них магнитное поле, которое в течение первой половины импульса будет производить отклонение электронного луча в одну сторону (например, вправо), а затем в обратную (влево) [1]. Затем подается импульс тока в катушки вертикального отклонения, и элек-

[1] На рис. 9 слева условно показаны траектории прямого и обратного движений луча, не совпадающие друг с другом. Это сделано лишь для удобства изображения. На самом деле траектории прямого и обратного движений совпадают.

тронный луч отклоняется вверх и вниз. Во время следующего полупериода развертки сначала происходит отклонение луча влево и вправо, а затем вниз и вверх (для этого изменяется полярность импульсов тока).

Сигнал на выходе электронного умножителя появляется лишь в те периоды времени, когда электронный луч от фотокатода проходит через диафрагму к первому аноду умножителя. Поэтому при наличии развертки сигнал образуется только тогда, когда электронный луч движется в пределах отверстия диафрагмы.

Ток в цепи электронного умножителя и напряжение на его выходе имеют импульсную форму. Если развертка начинается от центра диафрагмы, то все выходные импульсы одинаковы по дли-

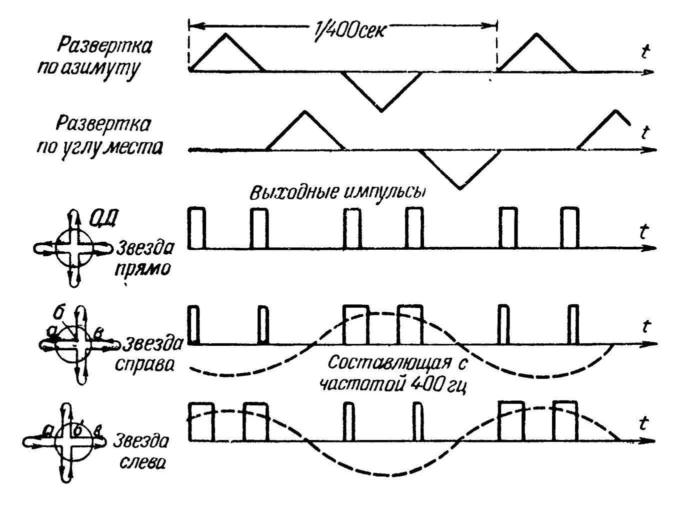


Рис. 9. Принцип развертки и формы напряжений в цепях следящего устройства.

тельности вследствие симметрии схемы. Это имеет место в том случае, когда изображение наблюдаемого объекта находится в центре фотокатода, а сам объект — на продолжении оптической оси электронно-лучевой трубки.

Теперь представим себе, что объект отклонился от направления продольной оси трубки. При этом изображение объекта будет проецироваться уже не в центр фотокатода. Соответственно окажется смещенным относительно центра трубки и элекронный луч, проходящий через диафрагму при отсутствии импульсов развертки. При наличии развертки импульсы напряжения на выходе электронного умножителя окажутся неодинаковыми по длительности. При сдвиге изображения объекта влево более длительные импульсы соответствуют моментам движения развертки на участке *б—в*, а более короткие — движению по другим участкам в пределах отверстия диафрагмы *ОД*.

В схеме (рис 8) после видеоусилителя 2 установлено устройство, обеспечивающее поочередное поступление треугольных импульсов тока нужной полярности в катушки горизонтального и вертикального отклонения (через усилители 7 и 8). Одновременно с этим коммутирующее устройство распределяет по схемам формирования и усиления сигнала 4 и 5 видеоимпульсы, полученные во время горизонтальной и вертикальной разверток. На рис. 9 показаны импульсы, проходящие в канал горизонтального управления в тех случаях, когда объект находится на оси трубки и когда он смещен по горизонтали влево и вправо.

Если объект находится на оси трубки, то все импульсы имеют одинаковую длительность. При смещении объекта относительно оси появляются парные группы коротких и длинных импульсов. За период напряжения с частотой 400 *гц* приходят два коротких и два длинных импульса. Временно́е положение этих групп импульсов зависит от того, в какую сторону объект смещается относительно центра При наличии группы коротких и длинных импульсов, периодически повторяющихся с частотой 400 *гц*, в спектре сигнала появляется гармоническая составляющая с частотой развертки 400 *гц*. Эта составляющая выделяется с помощью фильтра нижних частот. Фаза ее изменяется на 180° при изменении положения объекта относительно центра. Поэтому составляющая с частотой развертки может быть использована в качестве управляющего сигнала. Этот сигнал через усилитель 4 подается в одну из обмоток двухфазного двигателя 9, вторая обмотка которого питается напряжением той же частоты, поступающим непосредственно от сети с частотой 400 *гц*. При изменении фазы управляющего сигнала изменяется направление вращения электродвигателя. Последний через редуктор связан с механизмом, управляющим поворотом оси следящей системы по горизонтали. Поворот оси продолжается до тех пор, пока наблюдаемый объект не попадает на продолжение оси трубки. При этом все импульсы на выходе трубки станут одинаковыми по длительности, и управляющий сигнал будет равен нулю. Аналогично происходит управление и в вертикальной плоскости.

В телевизионном автомате, предназначенном для определения координат наблюдаемых объектов, могут использоваться передающие трубки и других типов. Была, например, разработана система с видиконом, позволяющая автоматически измерять координаты объекта по осям, совпадающим с направлениями кадровой и строчной разверток.

Допустим, что изображение объекта A на экране телевизионного приемника оказалось смещенным на величину X по горизонтальной оси и на величину Y по вертикальной оси (рис. 10). Если фокусное расстояние объектива O равно f, то смещение изображения на расстояние X будет означать, что наблюдаемый объект сместился в горизонтальной плоскости относительно продольной оси передающей трубки на угол α, который можно найти из условия $\operatorname{tg}\alpha = X/f$ (при малом угле $\alpha \approx X/f$). Аналогично смещение изображения на величину Y в вертикальной плоскости происходит при отклонении объекта на угол β, для которого $\operatorname{tg}\beta = Y/f$ (при малом угле $\beta \approx Y/f$).

Следовательно, если нам удастся автоматически измерить смещения изображения объекта по осям X и Y, то мы сможем опре-

делить угловые отклонения этого объекта относительно оси телевизионной камеры. А эти данные можно использовать, например, для того, чтобы с помощью управляющего устройства поворачивать телевизионную камеру так, чтобы изображение наблюдаемого объекта непрерывно удерживалось в поле зрения передающей камеры.

Если наблюдаемый объект имеет небольшие размеры, то при развертке его изображения будет получен короткий видеоимпульс, сдвинутый во времени от начала строки При смещении объекта по оси X величина сдвига будет изменяться. Если нам удастся составить схему, измеряющую величину временного сдвига, то тем самым мы сможем измерить координату X изображения объекта.

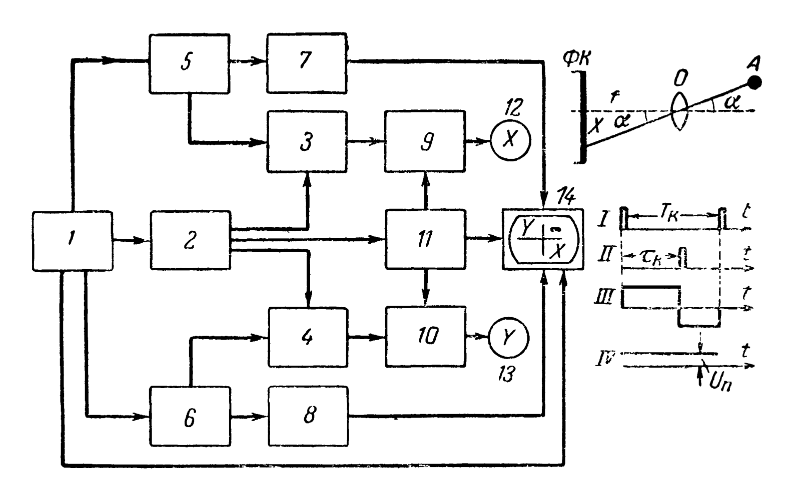


Рис. 10. Телевизионная система для измерения координат объекта.

1 — передающая камера; *2* — блок обработки видеосигнала, *3* — схема выделения координаты *X*; *4* — схема выделения координаты *Y*; *5* и *6* — блоки задержки синхроимпульсов; *7* — генератор вертикальной линии перекрестия; *8* — генератор горизонтальной линии перекрестия; *9* — выходной блок *X*; *10* — выходной блок *Y*; *11* — генератор стробирующих импульсов; *12* — прибор отсчета *X*; *13* — прибор отсчета *Y*; *14* — видеоконтрольное устройство.

Аналогичным образом, зная временной интервал между началом кадровой развертки и видеоимпульсом наблюдаемого объекта, можно определить координату Y.

В качестве измерителя временных интервалов в рассматриваемом случае используются триггерные схемы. Триггер представляет собой электронную схему с двумя плечами (в каждом плече находится лампа или транзистор). Одна из ламп триггера всегда заперта, а другая — отперта. При подаче на вход триггера возбуждающего импульса лампы как бы меняются местами. При этом в анодной цепи отпирающейся лампы возникает отрицательный,

а в анодной цепи запирающейся лампы — положительный импульс напряжения.

В схеме измерения координаты Y на одно плечо триггера подается кадровый синхроимпульс I, а на другое плечо — видеоимпульс II, соответствующий наблюдаемому малоразмерному объекту. Длительность импульса III на выходе триггера будет пропорциональна временно́му интервалу $\tau_к$ между кадровым синхроимпульсом и видеоимпульсом цели. Эти импульсы можно «сгладить» с помощью усредняющей (интегрирующей) цепи, на выходе которой получается постоянное напряжение IV, определяемое смещением изображения цели по оси Y. Это напряжение $U_п = k\tau_к$ может измеряться стрелочным прибором, проградуированным непосредственно в единицах измерения координат Примерно таким же образом выделяется напряжение, пропорциональное координате X.

Для того чтобы видеоимпульсы от посторонних объектов не мешали работе устройства, в схеме телевизионного автомата предусмотрено применение специального блока, позволяющего осуществить селекцию или, как говорят, стробирование нужного видеоимпульса и подавить все прочие импульсы. Принцип работы такого селектора заключается в следующем. Как только приходит импульс от нужной «цели», он воздействует на импульсную схему, в результате срабатывания которой вырабатывается отрицательный импульс, запирающий измерительное устройство примерно на 0,8 периода кадра. Любые другие сигналы, образующиеся на выходе передающей трубки за это время, на измерительную схему не попадают. Аналогичным образом действует устройство, запирающее измерительную схему на бо́льшую часть периода строчной развертки.

Рассмотрим теперь функциональную схему устройства, показанную на рис. 10 слева. Сигнал с выхода передающей камеры *1* поступает на блок обработки. Здесь видеосигнал «цели» выделяется на основе различия его амплитуды и амплитуды сигнала фона. Это осуществляется путем отсечки импульсов с меньшей амплитудой. Далее пики видеоимпульсов усиливаются и используются для запуска схем *3* и *4* выделения напряжений, пропорциональных координатам X и Y.

Далее производится усреднение (интегрирование) импульса, в результате которого на выходе блока *10* получается постоянное напряжение, пропорциональное координате Y «цели». Это напряжение измеряется стрелочным прибором *13*.

Поскольку видеоимпульсы от «цели» обычно существуют не на всех строках кадра, выделение координаты X объекта представляет собой задачу, несколько отличную от задачи выделения координаты Y. В схеме выделения координаты X видеоимпульс «цели» и строчный синхросигнал подаются на триггер. Полученный на его выходе импульс усредняется. Уровень напряжения сохраняется в течение времени, несколько меньшего, чем период кадра. После этого схема переходит в режим «записи» нового значения уровня напряжения.

Отметим, что описанное устройство может работать и в таком режиме, когда оператор пользуется «электронной меткой» в виде перекрестия на экране видеоконтрольного устройства. При этом на выходе измерительного устройства также получаются напряжения, пропорциональные координатам «цели».

6. ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ ОПРЕДЕЛЯЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЕЧИ

Одной из своеобразных областей применения телевизионных автоматов является использование их для целей автоматического измерения температурных полей. В тепловых двигателях, металлургических печах, при литье и автоматической сварке металлов происходят различные тепловые процессы, распределенные по объему, поверхности или вдоль некоторой линии. Так, например, в различных участках свода металлургической печи могут наблюдаться разные температуры, причем в некоторых точках они могут превзойти допустимое значение. Температурные поля в ряде случаев могут довольно быстро изменяться во времени.

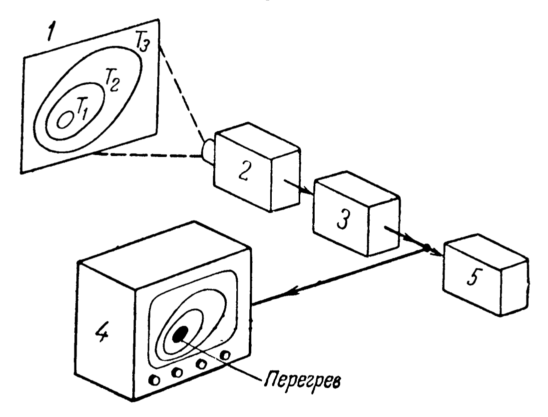


Рис. 11. Схема измерения температурных полей.

1 — температурное поле; *2* — телевизионное передающее устройство; *3* — блок обработки сигнала; *4* — видеоконтрольное устройство; *5* — устройство, сигнализирующее о перегреве

Непрерывный контроль за характером температурного поля может быть достигнут с помощью телевизионного автомата (рис. 11). В таком автомате механическое или электронное сканирующее устройство производит развертку теплового изображения. Передающая телевизионная трубка *2*, чувствительная к инфракрасным лучам, или другой приемник теплового излучения выдает сигнал, соответствующий распределению температуры на поверхности (или линии) сканирования. В схеме автоматической обработки *3* могут быть выделены сигналы, соответствующие перегреву наблюдаемого объекта. Для этой цели можно использовать амплитудный ограничитель. Сигналы от перегретых участков будут превосходить установленный порог ограничения. При этом сигнализирующее устройство *5* подает определенный сигнал. В каком бы месте контролируемого объекта ни произошло увеличение температуры выше установленной нормы, оно обязательно будет обнаружено телевизион-

ным автоматом При этом на экране видеоконтрольного устройства *4* может быть визуально указан участок объекта, на котором произошло чрезмерное повышение температуры.

С помощью телевизионного автомата, содержащего устройство обработки сигнала, может быть также получено визуальное изображение линий равной температуры (такие линии называются изотермическими) на экране видеоконтрольного устройства.

7. ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ ВЕДЕТ СЧЕТ МЕЛЬЧАЙШИХ ЧАСТИЦ

Кроме измерения линейных и угловых величин, телевизионные автоматы могут использоваться для счета частиц и деталей. Примером такого телевизионного автомата-счетчика может служить автоматизированный телевизионный микроскоп

Наблюдение малоразмерных объектов с помощью микроскопа широко практикуется в медицине, промышленности, при научных исследованиях. Обычный оптический микроскоп состоит из оптической системы с сильным увеличением, источника света и предметного стекла, на котором располагается исследуемый объект. Оптическому микроскопу свойственны некоторые ограничения, затрудняющие использование его в ряде практических случаев. Рассматривать изображение под микроскопом может только один человек. Количественные измерения производить трудно, особенно при большом числе микроскопических частиц, находящихся в поле зрения. Биологические объекты обычно имеют малую контрастность, что затрудняет детальное изучение их структуры Яркость изображения во многих случаях получается незначительной, а увеличение ее сопряжено с возможностью повреждения исследуемого объекта при освещении его сильным источником света.

Эти недостатки могут быть устранены при использовании телевизионного метода наблюдения. Обычно применяется телевизионная система, работающая по методу бегущего луча (см. рис. 3). С помощью кинескопа создается бегущий световой луч, который развертывается по строкам и по кадру и через оптическую систему микроскопа проецируется на исследуемый образец. Световой луч, прошедший через образец, оказывается модулированным по закону изменения прозрачности этого образца. После конденсора световой луч попадает на фотоэлектронный умножитель. Сигналы, полученные на выходе умножителя, могут быть использованы для воспроизведения видимого изображения на экране видеоконтрольного устройства Световой луч непрерывно перемещается по строкам и по кадру, поэтому каждая точка образца освещается лишь в течение короткого отрезка времени, и яркость светового луча может быть увеличена без опасения повредить образец. Телевизионная система при соответствующем выборе ее характеристик обладает способностью усиливать контраст изображения по сравнению с действительным контрастом объекта. Это обстоятельство позволяет применять телевизионый микроскоп при исследовании малоконтрастных образцов.

Применение телевизионного микроскопа с визуальным наблюдением на экране видеоконтрольного устройства не устраняет затруднений, возникающих в тех случаях, когда по условиям постав-

ленной задачи приходится вести подсчет количества частиц, находящихся в поле зрения микроскопа. Задача автоматического счета частиц может быть решена путем использования телевизионного автомата, включающего счетную схему. При этом необходимо учесть, что если размеры наблюдаемых частиц будут больше, чем «толщина» светового луча, просвечивающего образец, то развертываемый по строкам световой луч будет пересекать одну и ту же частицу по нескольку раз (на нескольких соседних строках) и каждый раз будет возникать импульс на выходе фотоэлектронного

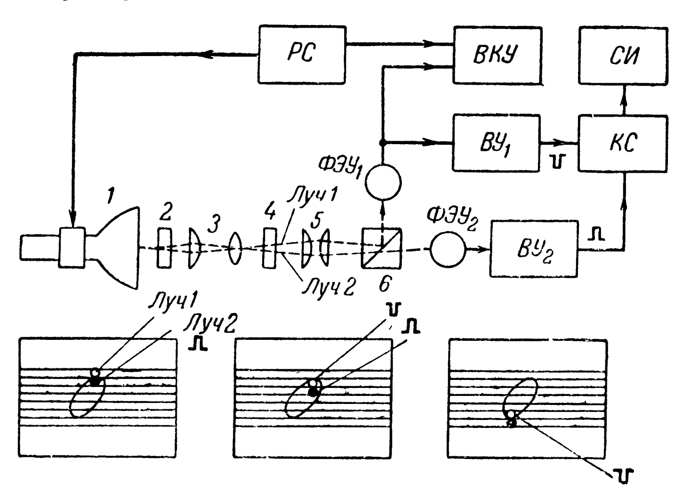


Рис. 12. Схема телевизионного микроскопа-автомата.

1 — кинескоп (просвечивающая трубка); *2* — кристалл с двойным лучепреломлением; *3* — оптическая система (объектив); *4* — образец; *5* — конденсор; *6* — поляризационная призма.

умножителя. При этом правильный подсчет количества частиц счетчиком окажется невозможным. Для устранения этого недостатка несколько видоизменяют схему телевизионного микроскопа.

Особенность схемы, показанной на рис. 12, заключается в использовании кристалла с двойным лучепреломлением, помещаемого на пути светового луча, который идет от просвечивающей трубки. Явление двойного лучепреломления заключается в том, что световой луч, проходя через кристалл (или другое вещество), расщепляется на два луча, которые после выхода из кристалла идут по разным направлениям. Эти лучи различаются по характеру электромагнитных колебаний (обладают различной поляризацией).

Каждый из лучей просвечивает исследуемый образец. Если посмотреть на проекцию световых лучей в плоскости образца, то мы заметим, что из-за двойного лучепреломления лучи *1* и *2* несколько сдвинуты по вертикали. После прохождения через образец каждый из лучей ослабляется пропорционально плотности образца на развертываемой строке. За конденсором устанавливается специальная призма, называемая поляризационной. Через эту призму

лучи *1* и *2* проходят с различными углами преломления.

Далее световые потоки попадают на фотоэлектронные умножители $ФЭУ_1$ и $ФЭУ_2$. На выходе $ФЭУ_1$ появляется видеосигнал, соответствующий анализу плотности образца первым световым лучом, а на выходе $ФЭУ_2$ сигнал, соответствующий второму световому лучу. Эти сигналы подаются на видеоусилители. Сигнал с $ФЭУ_1$, кроме того, поступает на видеоконтрольное устройство *ВКУ*. Развертка и синхронизация видеоконтрольного устройства, а также просвечивающей трубки *1* осуществляются от общего блока *PC*.

Видеоусилители $ВУ_1$ и $ВУ_2$ усиливают сигналы соответствующих фотоэлектронных умножителей. В рассматриваемой схеме верхний луч называется контрольным. Соответствующий этому лучу видеосигнал имеет на выходе видеоусилителя $ВУ_1$ отрицательную полярность. Луч *2* называется измерительным. Соответствующий ему видеосигнал на выходе видеоусилителя $ВУ_2$ имеет положительную полярность.

Сигналы с видеоусилителей подаются на ключевую схему *КС*, которая обладает следующими свойствами: 1) если приходят одновременно отрицательный импульс от видеоусилителя *1* и положительный импульс от видеоусилителя *2*, то на выходе схемы сигнала нет; 2) если приходит только отрицательный импульс от видеоусилителя *1*, то входное напряжение также равно нулю; 3) если приходит только положительный импульс от видеоусилителя *2*, то на выходе схемы появляется импульс. Рассматривая рис. 12, можно заметить, что последнее условие (наличие только положительного импульса) имеет место в том случае, когда идет развертка по верхнему краю исследуемой частицы и лучи занимают такое положение, что луч *2* (измерительный) уже пересекает частицу, а луч *1* (контрольный), находящийся выше, еще не дошел до нее. Таким образом, счет каждой частицы производится однократно в тот момент времени, когда измерительный луч уже пересекает ее, а контрольный луч еще не дошел до нее.

Схему совпадения *КС*, выбирающую из всех комбинаций импульсов только наличие положительного импульса на выходе видеоусилителя *2*, можно представить, например, следующим образом. На управляющую сетку лампы подаются отрицательные импульсы с выхода $ВУ_1$, а на ее экранирующую сетку — положительные импульсы от $ВУ_2$ Отрицательный импульс, складываясь с исходным смещением на сетке, полностью запирает лампу. При наличии только положительного импульса на экранирующей сетке лампа отпирается, и на выходе схемы образуется сигнал.

В качестве счетчика импульсов *СИ* может, например, использоваться схема с накопительной емкостью. Напряжение на выходе счетной схемы должно быть пропорциональным числу импульсов, поступающих на вход в единицу времени. Для того чтобы градуировка счетчика была постоянной, амплитуды и длительности импульсов должны быть всегда одинаковыми. Эту задачу выполняет формирующая схема (например, триггерная), расположенная перед счетчиком. Напряжение с выхода счетчика подается на стрелочный контрольно-измерительный прибор, шкалу которого можно проградуировать непосредственно в количествах подсчитываемых частиц.

При некоторых исследованиях недостаточно производить общий счет числа исследуемых частиц. Возникает необходимость раздельного счета частиц различных диаметров. Путем небольшого услож-

нения схемы телевизионного автомата можно решить и эту задачу. Чем больше диаметр частицы, тем больше длительность импульса, полученного на выходе анализирующего устройства. Этим обстоятельством можно воспользоваться для сортировки исследуемых частиц по размерам и для раздельного счета их.

Один из возможных вариантов разделения (селекции) импульсов по длительности показан на рис. 13. Допустим что из группы импульсов, имеющих длительности τ_1, τ_2 и τ_3, надо выделить импульс с длительностью τ_2. Импульсы дифференцируются цепочкой

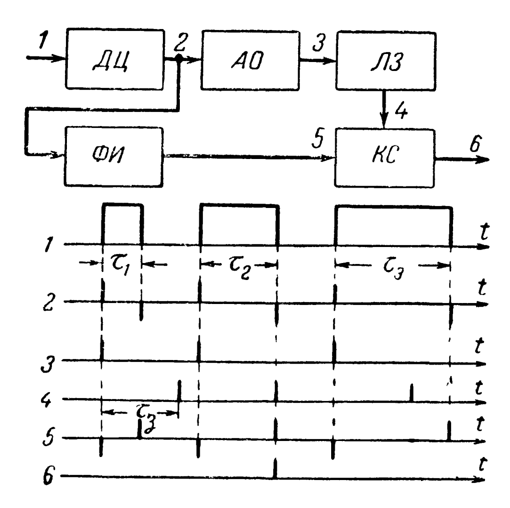


Рис. 13. Принцип селекции импульсов по длительности.

ДЦ. С помощью амплитудного ограничителя *АО* выделяются кратковременные импульсы, соответствующие переднему фронту каждого входного импульса. В линии задержки *ЛЗ* каждый из этих импульсов сдвигается на время τ_2. На каскад совпадения *КС* поступают задержанные импульсы $ЗИ_1$, $ЗИ_2$ и $ЗИ_3$, и вся последовательность импульсов с выхода дифференцирующей цепочки (полярность этих импульсов изменяется на обратную в фазоинверторе *ФИ*). Если время задержки $\tau_3=\tau_2$, то задержанный импульс $ЗИ_2$ и импульс, соответствующий заднему фронту импульса длительностью τ_2, совпадут по времени и каскад совпадения сработает. При прохождении импульсов с длительностями τ_1 и τ_3 на выходе каскада совпадения сигнала не будет, так как совпадения импульсов на входе нет.

Импульсы с выхода каскада совпадений подаются на счетчик. Последний при этом измеряет количество частиц, диаметр которых соответствует длительности импульса τ_2. Если применяется линия переменной задержки, то подобным же образом можно произвести подсчет частиц, диаметры которых соответствуют длительности им-

пульсов τ_1 и τ_3. Для градуировки счетчика используются специальные тест-объекты, которые строятся таким образом, чтобы в поле зрения телевизионного микроскопа попадало наперед известное число частиц заданного диаметра.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АВТОМАТЫ В «ЧИТАЮЩИХ» УСТРОЙСТВАХ

8. ЗАЧЕМ НУЖНЫ «ЧИТАЮЩИЕ» УСТРОЙСТВА

По мере развития электронных вычислительных машин открываются все более разнообразные возможности, практического применения их. Электронные вычислительные машины заменяют труд человека при сложнейших расчетах, позволяют автоматизировать многочисленные производственные процессы. Одной из задач, которая может быть решена с использованием методов электронной вычислительной техники, является задача автоматического распознавания содержания изображений или, как говорят, задача «распознавания образов».

«Узнавание» какого-либо объекта состоит в том, что восприятие этого объекта мы отождествляем с представлением о нем, запасенным в памяти. Если для восприятия объекта использовать «фотоэлектронный глаз» (например, передающую телевизионную трубку), а отождествление его с заранее запасенным представлением выполнять с помощью электронного вычислительного блока, то получится автоматическое устройство, решающее задачу распознавания изображения без участия человека.

Устройство для распознавания типографского, машинописного или рукописного текста принято называть «читающим устройством». Задача построения таких устройств успешно решается современной техникой. Более того, уже сейчас намечены пути построения устройств, которые могут различать и столь сложные изображения, как, например, фотопортреты или рисунки.

Надо сказать, что задача построения читающих устройств имеет большое практическое значение. Электронные вычислительные машины, обладая огромным быстродействием, выполняют до нескольких десятков тысяч математических операций в секунду. А вот для того чтобы подготовить вычислительной машине исходную информацию, затрачивается время, во много раз превосходящее время работы самой машины по решению сложнейших математических задач. Если бы вычислительная машина сама могла читать обычный текст, распознавать написанные формулы и числовые выражения, то насколько сократилось бы время, необходимое для выполнения поставленной перед нею задачи!

Известно, например, что с помощью электронных вычислительных машин можно осуществлять автоматический перевод с одного языка на другой. Но подготовка материала к переводу в таком виде, который был бы приемлем для вычислительной машины, занимает весьма значительное время. Если же машина сама автомати-

чески будет «читать» текст, подлежащий переводу, то человеку, собственно говоря, останется только предъявить этот текст машине и получить от нее текст, отпечатанный уже на другом языке.

Можно привести и другие примеры полезности «читающих» устройств. На больших почтамтах в день обрабатывается до нескольких сотен тонн почтовой корреспонденции Одна из самых утомительных и однообразных операций состоит в сортировке писем по различным адресам. Даже опытный оператор не может рассортировать больше, чем 2—2,5 тысячи писем в час. Для обработки всей почтовой корреспонденции требуется огромный штат работников. Если поставить на почтамте «читающий» автомат, то задача обработки почтовой корреспонденции решалась бы во много раз быстрее и при меньшем числе работников.

В типографиях сейчас применяются весьма совершенные типографские машины Наборная машина позволяет заготовить за минуту гранки более 500 типографских знаков. А вот самый квалифицированный наборщик, работая на клавиатуре, подобной клавиатуре пишущей машинки, может набрать за то же время текст, состоящий примерно из 150 знаков. Если функции наборщика взял бы на себя «читающий» автомат, то можно было бы полностью реализовать производительность, потенциально возможную для наборной машины, и, следовательно, значительно быстрее отпечатать газету или книгу.

9. КАК РАСПОЗНАТЬ ОБЪЕКТ ПО ЕГО ОЧЕРТАНИЯМ

Каким же образом можно научить машину автоматически распознавать содержание изображений? Самое простое решение задачи — непосредственное сравнение очертаний знаков, предъявляемых для распознавания, с образцовым изображением.

В периодической печати приводились данные о некоторых экспериментальных установках для распознавания объектов с использованием метода сравнения очертаний. Одна из установок разрабатывалась, например, применительно к задачам распознавания местности с самолета и его автоматической посадки. Для решения задачи автоматической посадки предполагается использовать серию заранее заготовленных фотоснимков аэродрома, по-разному ориентированных относительно осей фотоснимка. Полученное на самолете оптическое изображение местности в районе аэродрома сравнивается с каждым из образцовых снимков для установления соответствия их ориентировки. По величине светового потока на выходе сравнивающего устройства можно судить о текущей ориентировке самолета относительно взлетно-посадочной полосы.

Быстрое сопоставление наблюдаемого изображения *1* (рис. 14,*а*) с рядом образцовых изображений *3* можно произвести при использовании различных схем размножения оптического изображения. Для этой цели можно использовать, например, группу линз *2* (линзовую мозаику) или так называемую «нитевую» оптику (рис. 14,*б*).

«Нитевая» оптика представляет собой сочетание большого количества тончайших стеклянных волокон, используемых в качестве светопроводов. Каждое волокно состоит из двух слоев (рис. 14,*в*). Коэффициенты преломления света внешним и внутренним слоями подбираются таким образом, чтобы световой луч, попавший на тор-

цовую поверхность, испытывал полное внутреннее отражение на границе раздела между внутренним и внешним слоями. Благодаря этому световой поток распространяется внутри стекловолокна, как в своеобразном «оптическом» трубопроводе. Если в свободной среде свет распространяется прямолинейно, то в оптическом светопроводе траектория светового потока определяется профилем стеклянного волокна. Так как диаметр отдельного стекловолокна весьма мал (порядка 20—50 *мк*), светопровод образуется из большого числа отдельных нитей.

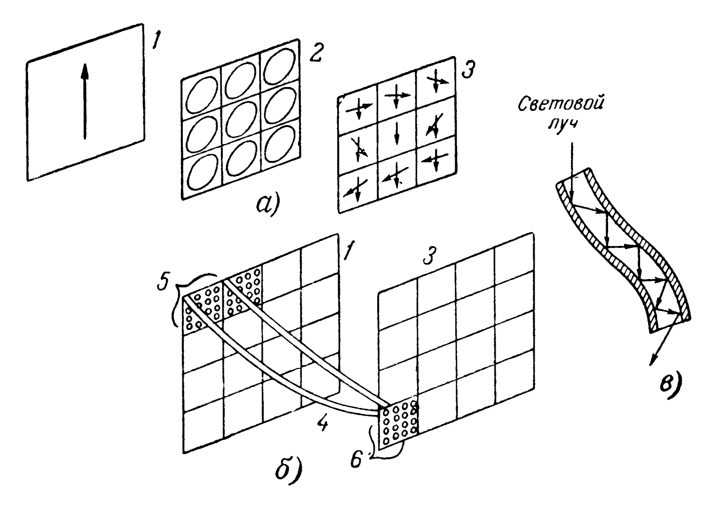


Рис. 14. Способы построения сравнивающих устройств.
1 — изображение, подлежащее распознаванию; *2* — линзовая мозаика; *3* — фотопленка с записью образцовых изображений; *4* — нитевая оптика; *5* — элемент исходного изображения; *6* — один из вариантов образцового изображения

Для построения сравнивающего устройства изображение, подлежащее распознаванию, разделяется на ряд небольших элементов *5*. От каждого из этих элементов с помощью нитевой оптики осуществляется связь с каждым из образцовых изображений *6*. Нити располагаются в таком порядке, чтобы распознаваемое изображение было без искажений перенесено с помощью оптических светопроводов на плоскость фотопленки с образцовым изображением. Таким образом, происходит размножение или копирование исследуемого изображения. Число копий равно числу образцовых изображений.

Сравнение исследуемого изображения с образцовым производится с помощью фотоэлектронного датчика. При точном соответствии между изображениями выходной световой сигнал имеет максимальную величину, превышающую порог срабатывания фотоэлектронного датчика.

10. ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

При использовании метода сравнения очертаний возможно распознавание только вполне определенных изображений. Если же изменяется шрифт, наклон, толщина линий исследуемых знаков, то безошибочное распознавание их становится трудным или вообще невозможным. Это ограничивает круг задач, которые можно решать с помощью сравнивающих устройств.

Более широкие возможности открываются перед устройством распознавания, в котором используются такие характерные признаки изображений, которые не зависят от шрифтов, наклона и тол-

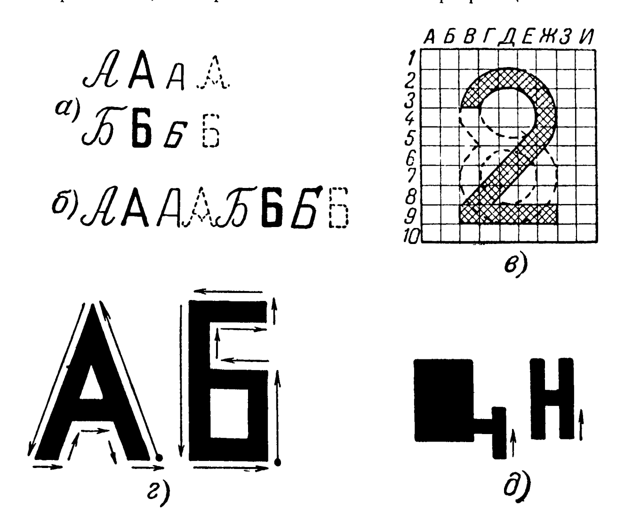


Рис. 15. Характерные признаки различных знаков.

щины линий знаков, почерка и т. п. Но прежде всего надо установить, что действительно имеются признаки, не зависящие от особенностей начертания того или иного знака.

Возьмем в качестве примера две буквы: А и Б при самых различных их начертаниях (рис. 15,*а*). Попробуем составить для этих букв своеобразные «анкеты» или «описания», по которым можно было бы воспроизвести очертания той или иной буквы.

Чтобы легче было сравнивать различные изображения одной и той же буквы, прежде всего уравняем их по масштабу (рис. 15,*б*). Что имеется общего между буквами А в различных начертаниях? Прежде всего можно заметить, что где-то в середине буквы обязательно присутствует горизонтальная линия. Замена этой линии волнистой кривой, отдельными штрихами, точками не меняет сути дела: горизонтальный участок должен быть обязательно Слева и справа у буквы А имеются длинные вертикальные или наклонные отрезки, каждый из которых заканчивается внизу, не соприкасаясь с другими элементами знака. Вверху находится горизонтальный отрезок,

который в некоторых случаях вырождается в точку соприкосновения наклонных линий, идущих слева и справа. Заметим также, что в средней части буквы А слева и справа при любом начертании обязательно присутствует точка, от которой в трех направлениях расходятся лучи.

Таблица 1

„Анкета“ буквы А

№	Характерный признак	Местоположение признака
1	Горизонтальная линия	В средней части и вверху
2	Вертикальная линия	Слева и справа
3	Наклонная линия	То же
4	Концевая точка	Внизу слева и внизу справа
5	Точка, из которой выходят два луча	Вверху
6	Точка, из которой выходят три луча	В средней части буквы

С учетом сказанного можно составить «анкету» буквы А. Такая «анкета» представлена в виде табл. 1. Некоторые из признаков, указанных в ней, присутствуют обязательно (№ *1*, *4* и *6*), другие являются взаимозаменяемыми (№ *2* и *3*) или необязательными (№ *5*). Если подобным же образом составить описание буквы Б, то ее «анкета» запишется в виде табл. 2.

Таблица 2

„Анкета“ буквы Б

№	Характерный признак	Местоположение признака
1	Горизонтальная линия	Вверху, в средней части буквы и внизу
2	Вертикальная линия	Слева и справа
3	Концевая точка	Вверху справа
4	Точка, из которой выходят два луча	Слева внизу и слева вверху
5	Точка, из которой выходят три луча	Слева в средней части буквы
6	Выпуклость	Справа

Очевидно, что наиболее важное значение для распознавания данного знака имеют признаки, отсутствующие у других знаков. Так, например, у буквы Б всегда имеется горизонтальная линия внизу, которой не может быть у буквы А. По мере увеличения количества распознаваемых знаков становится все труднее находить такие признаки, которые однозначно характеризовали бы какой-либо знак. В таких случаях приходится более углубленно изучать каждый из знаков, подлежащих распознаванию, с тем чтобы находить некоторые новые признаки, отличающие один знак от другого.

В некоторых случаях изображение знака разбивают на ряд квадратов (рис. 15,*в*) и исследуют, в каких комбинациях, характерных для данного знака, встречаются черные и белые квадраты. Пусть, например, требуется различить цифры 2 и 8. Если квадраты Г5 и Ж7 — белые, то предъявленной цифрой была двойка. Если же эти квадраты черные, то, значит, предъявлена восьмерка.

Одной из наиболее существенных частей любого изображения является его контур. Был проведен ряд исследований, показавших, что глаз человека при рассматривании любого изображения прежде всего обегает по его контурам. Анализ контуров изображения может дать много существенного для выявления отличительных признаков различных знаков. Так, например, при осмотре увеличенных изображений букв А и Б по внешнему контуру (рис. 15,*г*) появляется различие в направлениях движения глаза или электронного следящего устройства. Различие в направлениях обхода контуров отдельных знаков можно использовать для распознавания знаков. Правда, могут встретиться такие случаи, когда знаки будут различными, а направления обхода контуров — одинаковыми (рис. 15,*д*). Поэтому в дополнение к элементам движения по контуру необходимо оценивать также и другие характерные признаки отдельных знаков.

Следует отметить, что задача отыскания и описания характерных признаков для букв, цифр и других знаков при произвольном написании их или использовании произвольных шрифтов весьма сложна. Еще сложнее задача распознавания содержания таких изображений, как фотоснимки, рисунки и т. п. Однако техника решения этих задач непрерывно развивается и дает обнадеживающие результаты.

11. ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ В «ЧИТАЮЩЕМ» УСТРОЙСТВЕ

В зависимости от того, какие из характерных признаков принимаются во внимание при решении задачи распознавания, может существенно изменяться структура «читающего» устройства. Изменяется и схема решения задачи распознавания. Но в любом случае для распознавания знака необходимо сравнить его характерные признаки, выявленные «читающим» устройством, с характерными признаками всех образцовых знаков. Читающее устройство выдает утвердительный ответ, если предъявленный и образцовый знаки совпадают по максимальному количеству признаков.

Читающее устройство прежде всего должно отличать те участки листа писчей бумаги, на которых имеется текст, от промежутков между буквами и строками. Во-вторых, нужно выявить характер-

ные признаки данной буквы или данного знака, отличающие эту букву или этот знак от всех прочих знаков, которые полагается распознавать читающему устройству. Используя эти характерные признаки, читающее устройство должно выдать однозначный ответ о том, какой именно знак был предъявлен для распознавания.

Каким образом автоматически работающее устройство может отличить текст от промежутков между буквами и строками и выявить характерные признаки отдельных букв, цифр и других знаков? Прежде всего, буквы и знаки, написанные чернилами или напечатанные типографской краской, отличаются от фона бумаги по яркости. Следовательно, если на строку листа бумаги с текстом направить узкий луч света, то отраженный световой поток будет изменяться при переходе от участка с текстом к промежуткам между знаками и строками.

Если отраженный световой поток улавливается фотоэлементом, то увеличение сигнала на его выходе будет свидетельствовать о том, что первичный световой луч попал на промежуток между буквами. Уменьшение выходного сигнала будет происходить всякий раз, когда световой луч будет попадать на изображение какого-либо знака в тексте (так как коэффициент отражения света в местах расположения знаков меньше, чем для чистого листа бумаги). Таким образом, различение знаков в тексте и промежутков между ними может быть произведено с помощью бесконтактного фотоэлектронного индикатора. Очевидно, что толщина светового луча, анализирующего текст, должна быть соизмерима с толщиной букв, иначе переход от текста к промежуткам не будет улавливаться фотоэлектронным индикатором.

Могут быть предложены и другие способы различения букв и промежутков между ними. Например, можно писать текст специальными магнитными чернилами или печатать типографский текст специальной токопроводящей краской. Однако преимущество фотоэлектронного способа очевидно; в этом случае можно читать обычный рукописный или типографский текст. При этом считывающее устройство является бесконтактным В читающих машинах обычно используется фотоэлектронный способ считывания текста.

Итак, собрав схему, состоящую из источника света и фотоэлемента, и изменяя положение узкого светового луча, можно получить на выходе фотоэлемента электрический сигнал, по величине которого можно отличить текст от промежутков между буквами и строками. Как мы видим, эта задача решается весьма просто. Теперь рассмотрим, как с помощью фотоэлектронного устройства можно выявить характерные признаки того или иного знака.

Для выделения характерных признаков обычно бывает необходимо разбивать анализируемое изображение на большое количество элементов. Увеличение же количества анализируемых элементов приводит к необходимости увеличения числа фотоэлементов, что усложняет аппаратуру. Кроме того, ряд характерных признаков (например, наличие выпуклостей, контуров и т. п.) трудно выявить с помощью панели фотоэлементов. Представляет также затруднение регулирование масштаба изображения в соответствии с размерами исследуемого знака.

С целью устранения трудностей, связанных с использованием панели из фотоэлементов, во многих читающих устройствах преобразование изображений в электрические сигналы производят теле-

визионными методами. При этом могут использоваться как передающие телевизионные трубки, так и устройства, работающие по методу бегущего луча. Наибольшее применение находят устройства бегущего луча, так как они имеют высокую разрешающую способность и обеспечивают возможность сравнительно простого регулирования размеров и положения телевизионного растра при совмещении его с площадью читаемого знака.

Общая схема фотоэлектронного преобразователя, работающего по методу бегущего луча, соответствует схеме, показанной на рис. 2. Световое пятно на экране электронно-лучевой трубки образует телевизионный растр. Световой поток, отраженный от участка изображения, попадает на фотоэлектронный прибор (фотоэлемент, фотоумножитель и т. п.). Выходной сигнал фотоэлектронного прибора пропорционален яркости изображения. Развертка производится таким образом, чтобы обеспечить выявление тех или иных характерных признаков изображения.

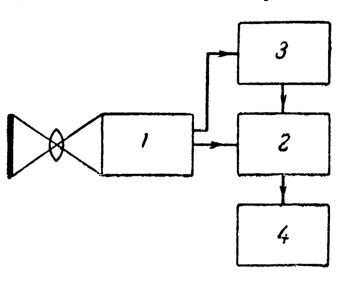


Рис. 16. Функциональная схема «читающего» устройства.

1 — фотоэлектронный преобразователь; *2* — блок анализа характерных признаков изображения; *3* — блок запоминания характерных образцовых признаков; *4* — выходной блок.

Можно сказать, что с помощью блока телевизионного преобразователя характерные признаки изображения переводятся в электрические сигналы, являющиеся «носителями» этих признаков. В анализирующем устройстве признаки исследуемого изображения сравниваются с образцовыми характерными признаками всех изображений, которые способно распознавать читающее устройство. Образцовые сигналы поступают из блока запоминания характерных признаков. По максимуму совпадений признаков делается вывод о характере распознаваемого знака. После того как характер знака определен, читающее устройство может выдать этот знак в виде изображения или ввести его в какую-либо автоматически работающую систему.

Таким образом, читающее (распознающее) устройство должно включать в себя следующие основные узлы (рис. 16): телевизионный автомат-преобразователь *1*, анализирующее устройство *2*, блок запоминания характерных признаков *3* и выходной блок *4*.

При построении блоков анализа и запоминания признаков широко используются элементы электронных вычислительных машин, которые отличаются высокой степенью быстродействия и возможностью выполнения логических операций. Перед блоком анализа в ряде случаев устанавливается фильтр, который должен отсеивать второстепенные и ложные сигналы (например, дефекты печати). В выходном блоке сигнал приводится к виду, удобному для практического использования его в соответствии с назначением читающего устройства

Было бы неправильно назвать читающее устройство в целом телевизионным автоматом. Точнее сказать, читающее устройство состоит из телевизионного автомата, обеспечивающего электриче-

ское «чтение» исследуемого изображения с выделением его характерных признаков, и электронно-вычислительного блока, производящего анализ сигналов, полученных на выходе телевизионного автомата, и распознавание содержания изображения.

12. ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ ИССЛЕДУЕТ ФОРМУ ЗНАКОВ

На ряде примеров рассмотрим принципы построения телевизионных автоматов читающих устройств.

В одном из читающих устройств в качестве характерных признаков исследуемых знаков используются элементы их формы: наклонные, горизонтальные и вертикальные линии. Выделение характерных признаков и преобразование их в электрические сигналы производятся с помощью телевизионного преобразователя, работающего по методу бегущего луча. Развертка изображения — построчная. Строки развертки располагаются вертикально. Это делается для того, чтобы за каждый отдельно взятый период развертки анализировалась только какая-либо одна деталь изображения (например, левая вертикальная линия буквы И, показанной на рис. 17,*а*). Если бы строки развертки располагались горизонтально (показано пунктиром), то за время одного периода развертки возникали бы импульсы, соответствующие разным деталям изображения (например, левой и правой вертикальным линиям и центральной наклонной линии буквы И). Это создавало бы трудности при выделении характерных признаков.

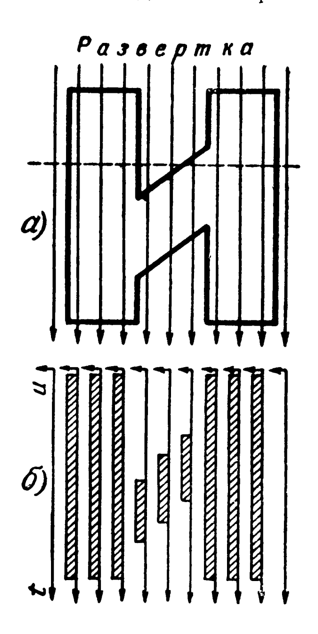


Рис. 17. Развертка изображения в читающем устройстве.

Заметим, что средняя высота буквы типографского текста составляет 2,5—3 *мм*. Наиболее тонкие линии имеют размер порядка 100—150 *мк*. Для надежного выделения характерных признаков необходимо, чтобы на самую тонкую линию приходилось не менее двух-трех элементов телевизионного растра. Значит, в среднем на высоту буквы должно приходиться около 50 элементов телевизионного растра.

При использовании метода бегущего луча в качестве размера элемента телевизионного растра можно принять размеры светового пятна, спроецированного объективом на поверхность листа бумаги с распознаваемым текстом. Диаметр светового пятна при указанных выше условиях должен составлять 3 : 50=0,06 *мм*. Такой же размер должно иметь световое пятно на экране просвечивающей трубки, если коэффициент увеличения изображения объективом принять

равным единице. Приведенная величина диаметра светового пятна (порядка 0,06 *мм*) является технически вполне достижимой.

Число строк телевизионного разложения, приходящихся на изображение данной буквы, должно примерно быть таким же, как и число элементов, размещаемых на длине строки (т. е. порядка 50). Тогда на изображение буквы придется около $50 \cdot 50 = 2\,500$ элементов телевизионного растра. Другими словами, в распоряжении «читающего» устройства окажется 2 500 электрических импульсов, каждый из которых может являться «носителем» характерного признака данной буквы (или другого знака). Опыт показывает, что такая подробность анализа знака является вполне приемлемой.

Итак, предположим, что с помощью читающего устройства необходимо распознать букву И (рис. 17,*а*). Характерными признаками этой буквы являются вертикальные линии слева и справа и наклонная линия в середине. Если строчная развертка производится сверху вниз, а по кадру растр развертывается слева направо, то на выходе фотоэлектронного преобразователя будет получена за время развертки знака группа импульсов, показанная на рис. 17,*б* (для упрощения чертежа число строк в растре уменьшено).

На основании рис. 17,*б* можно заключить, что вертикальной линии исследуемого знака соответствует группа импульсов на выходе фотоэлектронного преобразователя с длительностью, равной времени развертки знака в вертикальном направлении. Временнóе положение этих импульсов относительно начала строчной развертки остается постоянным. Интервалы между импульсами равны длительности строки.

Наклонной линии исследуемого знака соответствует группа импульсов меньшей длительности, причем положение импульсов изменяется относительно начала строчной развертки. Если линия наклонена вверх, то временной интервал между началом импульсов и началом развертки уменьшается при движении развертки по кадру слева направо. Если линия была бы наклонена вниз, то имела бы место обратная картина распределения импульсов. Горизонтальной линии, которая может встретиться, например, при чтении буквы Н, соответствуют короткие импульсы, занимающие фиксированные положения относительно начала развертки.

Таким образом, импульсы на выходе фотоэлектронного преобразователя действительно являются носителями характерных признаков распознаваемых знаков. При классификации признаков необходимо установить, какой именно линии (вертикальной, наклонной, горизонтальной) соответствует пришедший импульсный сигнал. Нужно также отметить, на каком участке изображения появился этот признак (вверху, внизу, слева и т. п.).

Для того чтобы проверить, не соответствует ли анализируемый импульс длинной вертикальной линии, можно использовать схему селекции по длительности (рис. 18,*а*), подобную, например, той, которая была рассмотрена при описании телевизионного автомата-микроскопа. Подобным же образом можно установить, не является ли анализируемая линия вертикальной с размером, равным 0,5 или 0,25 высоты буквы.

Для выделения импульсов, соответствующих наклонным линиям, может быть использована схема, состоящая из линий задержки *ЛЗ* и каскадов совпадения *КС* (рис. 18,*б*). Линии задержки производят

задержку кратковременно анализируемого импульса на 0,9; 1,0 и 1,1 длительности строки $T_{стр}$. Если исследуемые импульсы соответствуют горизонтальной линии, то очередной импульс появится точно через 1 период строки. Задержанные предыдущий и очередной импульсы одновременно придут на каскад совпадения $КС_2$. На выходе этого каскада появится сигнал, свидетельствующий о том, что исследуемая линия — горизонтальная. Если исследуемая линия идет снизу вверх, то при смещении растра развертки слева направо интервал между началом развертки и импульсом будет уменьшаться.

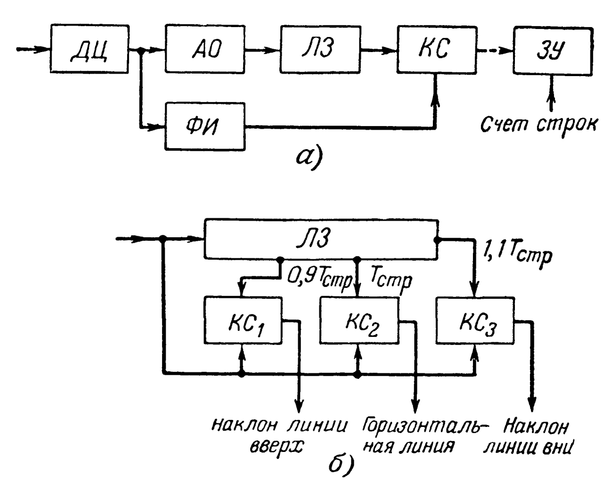


Рис. 18. Принципы селекции импульсов, соответствующих вертикальным и наклонным линиям.

ДЦ — дифференцирующая цепь; *АО* — амплитудный ограничитель; *ЛЗ* — линия задержки; *КС* — каскад совпадения; *ФИ* — фазоинвертер; *ЗУ* — запоминающее устройство.

На выходе каскада совпадения $КС_1$ появится сигнал. Если же линия идет сверху вниз, то сигнал появится на выходе каскада совпадения $КС_3$.

Кроме выявления характерных признаков, необходимо также получить информацию о расположении этого признака. Так, например, если определено наличие наклонной линии буквы И, то нужно указать, что эта линия находится в середине площадки, в которую вписана буква И. Чтобы выполнить эту задачу, необходима электронная схема, которая определяла бы интервалы времени от начала развертки по кадру и от начала развертки по строке до момента появления импульсов, соответствующих данному характерному признаку.

Формированием сигналов, несущих информацию о характерных признаках исследуемого знака и расположении этих признаков, собственно говоря, и заканчиваются функции телевизионного автомата, входящего в состав читающего устройства. Эти данные передаются

в запоминающее устройство, которое подключается к выходным цепям блока выявления признаков. На рис. 18,*а* показан узел запоминающего устройства *ЗУ*, подключенный к выходу схемы, которая определяет наличие длинной вертикальной линии. Как только на выходе каскада совпадений *КС* появится импульс, он переведет запоминающее устройство в такое состояние, которому приписывается условное название «появление длинной вертикальной линии».

В качестве запоминающего устройства можно применить, например, триггер. Под воздействием возбуждающего импульса ранее отпертая лампа запирается, а запертая — отпирается. Новое состояние схемы сохраняется до прихода очередного возбуждающего импульса.

В запоминающее устройство одновременно с появлением признака «длинная вертикальная линия» вводится указание о том, какой строке телевизионного растра соответствует появление этого признака. Запоминание характерных признаков знака надо производить только на то время, пока читающее устройство производит анализ данного знака. После того как знак распознан, вся информация о его признаках должна быть стерта, иначе запоминающее устройство не сможет перейти к анализу следующего знака. Другими словами, запоминание характерных признаков должно носить временный характер. В случае использования триггера «стирание» информации может быть выполнено путем перевода его внешним импульсом в некоторое начальное положение, соответствующее отсутствию характерного признака.

Но в состав запоминающего устройства входит также блок с постоянным запоминанием введенной информации. Этот блок должен сохранять информацию о характерных признаках всех образцовых знаков, распознавание которых должно производить читающее устройство. Распознавание знаков по характерным признакам, найденным с помощью телевизионного автомата, производится в анализирующем устройстве, которое получает из запоминающего устройства также информацию о характерных образцовых признаках отдельных знаков. Здесь с помощью быстродействующих электронных схем производится поочередное сравнение выявленных характерных признаков с характерными признаками всех без исключения образцовых знаков. В результате такой «пробы» анализирующее устройство по максимуму совпадений признаков выдает сигнал, соответствующий распознанному знаку. Этот знак печатается на бумаге.

В то время, когда телевизионный преобразователь производит обзор одного из знаков, его поле зрения во избежание путаницы должно быть ограничено прямоугольником, в который вписывается данный знак. Для решения этой задачи сначала даются пробные циклы развертки, за время которых происходят центровка и регулировка размеров растра по вертикали и горизонтали. Управление цепями центровки и регулировки размеров растра осуществляется с помощью электронных схем. Если, например, начало строчной развертки находится ниже верхнего края читаемого знака, то электронная схема, «оценив» это обстоятельство, должна послать управляющий сигнал в схему вертикальной центровки. После пробных циклов развертки осуществляется рабочий цикл, во время которого происходит фотоэлектронное «чтение» знака.

13. ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ ИССЛЕДУЕТ КОНТУРЫ ЗНАКОВ

Следует отметить, что при использовании линейной развертки выделение ряда характерных признаков (например, выпуклостей и вогнутостей) представляет трудности. Поэтому в телевизионных автоматах ряда читающих устройств используют так называемую «следящую развертку», при которой производится слежение за внешним контуром знака с передачей в электронно-вычислительный блок данных о направлении обхода контура знака.

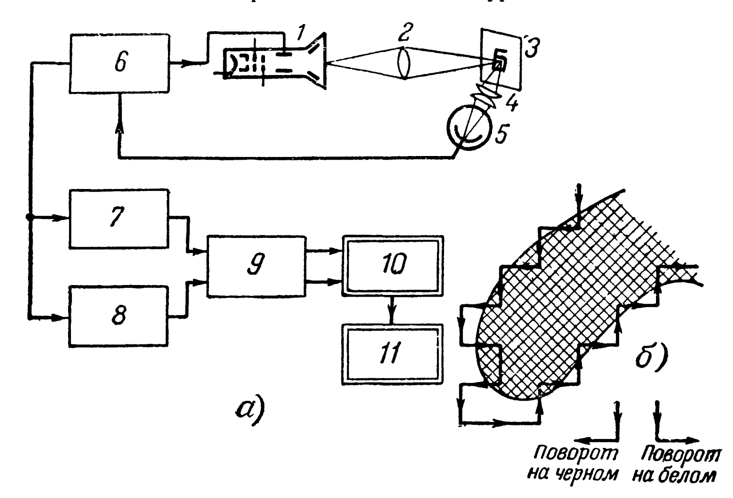


Рис. 19. Читающее устройство со следящей разверткой.

1 — кинескоп; *2* — объектив; *3* — запись текста; *4* — конденсор; *5* — фотоэлектронный умножитель; *6* — устройство управления разверткой; *7* — анализатор положений; *8* — анализатор направлений; *9* — запоминающее устройство; *10* — анализатор признаков; *11* — выходное устройство.

В состав телевизионного блока при следящей развертке (рис. 19,*а*) входят кинескоп, объектив, конденсор, фотоэлектронный умножитель и устройство управления разверткой. Световое пятно, полученное на экране кинескопа, проецируется объективом на лист *3* с записью исследуемых знаков. Отраженный световой поток воздействует на фотоэлектронный умножитель *5*. Выходной сигнал подается на устройство управления разверткой *6*. Для обеспечения простоты управления разверткой выбирается кинескоп с электростатическим отклонением луча.

При использовании следящей развертки луч на экране кинескопа может двигаться шагами одинаковой длины в любом из четырех направлений, различающихся на 90° (рис. 19,*б*). Имеются два уровня выходного сигнала фотоумножителя, соответствующие движению по черному и белому полям изображения. Если световой луч кинескопа движется по черному полю, то его движение изме-

няется после каждого шага вправо (или на 90° по часовой стрелке). При движении по белому полю направление изменяется в противоположную сторону. Эти правила обеспечивают движение луча вдоль границы раздела черного и белого полей, т. е. движение по внешнему контуру изображения (при этом черное поле всегда остается слева). Для обеспечения устойчивости движения правила несколько усложнены: если на протяжении двух шагов луч не встречает границы, то он начинает делать по два шага в каждом направлении до тех пор, пока не встретит границу.

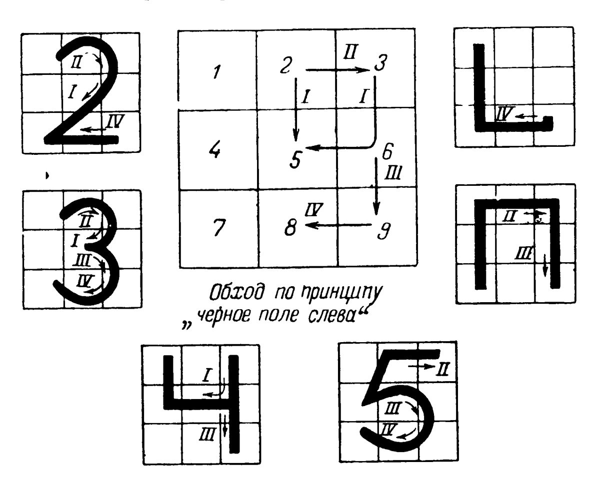


Рис. 20. Набор характерных признаков, используемых при следящей развертке.

В состав телевизионного автомата входят также блоки, которые анализируют направления движения луча и определяют положения, в которых эти направления изменяются. Сигналы с выхода блоков анализа положений *7* и направлений *8* поступают в запоминающее устройство *9*, в котором хранятся также характерные признаки отдельных образцовых знаков. Анализирующее устройство *10* сравнивает признаки исследуемого знака с образцовыми признаками различных знаков, запасенными в запоминающем устройстве. После сравнения признаков выдается сигнал, соответствующий характеру знака, предъявленного для распознавания.

При опробовании макета одного из автоматов со следящей разверткой поле изображения знака разбивалось на девять прямоугольников (рис 20). В качестве характерных признаков использовались следующие переходы из одной клетки в другую при движении вдоль контура: 1) переход из 2-й или 3-й клетки в 5-ю; 2) переход 2—3; 3) переход 6—9; 4) переход 9—8 (обход контура производится так, чтобы черное поле всегда было слева.) Например, у цифры 5 присутствуют 2-й, 3-й и 4-й признаки, а первый признак отсутствует Оказалось, что при таком наборе признаков можно уверенно различать восемь из десяти арабских цифр (кроме 1 и 8) и, кроме того, буквы L, С и П.

14. ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ АВТОМАТ ИССЛЕДУЕТ ГРАФИКИ

Разновидностью читающих автоматов являются устройства для перевода графиков в электрические сигналы. Такая задача может представиться в тех случаях, когда запись графиков, характеризующих те или иные процессы, и анализ этих графиков разделены во времени или в пространстве или же когда большая скорость записи требует дополнительного времени для анализа (например, при анализе показаний сейсмографической аппаратуры).

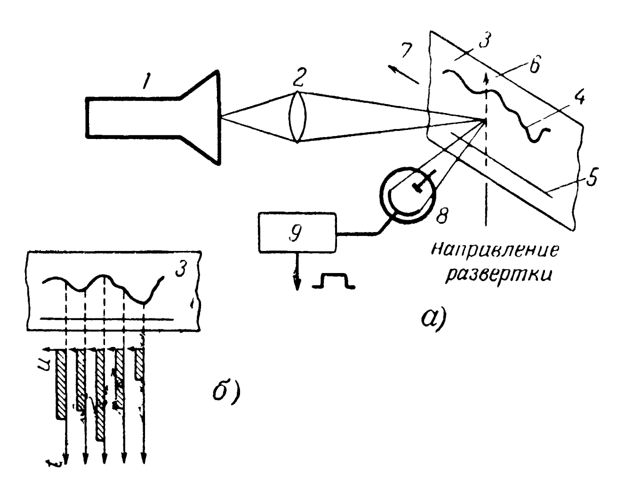


Рис. 21. Схема для автоматического чтения графиков.

1 — кинескоп; *2* — объектив; *3* — графический материал; *4* — осциллограмма; *5* — ось; *6* — однострочная развертка; *7* — направление движения; *8* — фотоэлектронный прибор; *9* — триггер.

Для чтения графиков может использоваться система с однострочной разверткой бегущим лучом, направленным по вертикальной оси графика (рис. 21,*а*). Если на график нанесена ось, то временной интервал между импульсами, полученными при пересечении развертывающим лучом этой оси и линии исследуемой кривой, будет пропорционален текущему значению величины, представленной на графике. Графические данные оказываются преобразованными в электрический сигнал. С помощью триггерной схемы можно получить импульс, длительность которого пропорциональна текущему значению измеренной величины (рис. 21,*б*). Выходные данные могут вводиться в вычислительное устройство или в систему автоматического управления каким-либо агрегатом.

Кроме описанных, возможны и многие другие варианты построения читающих устройств, в которых телевизионные автоматы применяются для преобразования оптических изображений в сигналы, несущие на себе характерные признаки исследуемых знаков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы кратко рассмотрели возможности применения телевизионных автоматов для решения разнообразных задач, встречающихся при управлении производственными процессами и проведении научных исследований. Во всех рассмотренных случаях телевизионные датчики применялись для того, чтобы обеспечить бесконтактный съем информации, необходимой для управления каким-либо объектом или решения задач научного исследования.

Можно было заметить, что телевизионные автоматические устройства по ряду характеристик отличаются от обычных вещательных телевизионных систем. Так, например, при автоматическом контроле размеров предметов или анализе графиков оказывается достаточным применение передающей камеры с однострочной разверткой, а в читающих устройствах могут применяться передающие камеры со специальной следящей разверткой.

Если в телевизионном автомате отсутствует необходимость визуального наблюдения изображения, то применение многокадрового режима (с передачей нескольких десятков кадров в секунду) становится неоправданным. Значит, в телевизионных автоматах технические параметры могут существенно отличаться от вещательных. Основанием для их выбора должны являться требования, предъявляемые к телевизионному автомату с учетом его конкретного назначения.

Применение телевизионных датчиков в автоматических системах вместо фотоэлементов, термопар и других бесконтактных датчиков становится тем более целесообразным, чем больше объем информации, который необходим для решения задачи, поставленной перед автоматической системой управления или контроля. Это объясняется тем, что применение принципа телевизионной развертки позволяет создавать компактные устройства для восприятия зависимостей между целым рядом переменных параметров.

Если поставленная техническая задача описывается изменением во времени какого-либо одного параметра (яркости, интенсивности, теплового излучения и т. п.) в одной точке пространства, то в качестве датчика может быть использован, например, фотоэлемент. Если поставленная задача описывается изменением во времени какого-либо параметра, источники которого находятся на одной линии, то с целью увеличения точности измерений уже может оказаться целе-

сообразным применение телевизионного датчика (например, в случае измерения поперечных размеров материала). Наконец, если ставится задача измерения каких-либо переменных параметров, распределенных на плоскости или в пространстве, то объем необходимой информации может быть столь велик, что только телевизионная камера окажется в состоянии быстро воспринять его и переработать в электрические сигналы.

Конструирование телевизионных датчиков должно производиться в едином комплексе с работами по созданию всей системы автоматического управления или контроля.

ЛИТЕРАТУРА

Михалков К, Телевизионные автоматы, «Радио», 1960, № 3.

Полоник В. С., Цуккерман И. И, Телевизионная автоматика, «Техника кино и телевидения», 1961, № 6

Богатов Г. Б., Телевидение на Земле и в космосе, Изд-во АН СССР, 1961.

Литвак В. И, Фотореле в системах автоматического контроля и регулирования, Госэнергоиздат, 1958.

Полоник В. С., Телевизионные методы измерения размеров предметов, «Техника кино и телевидения», 1962, № 11.

Каминир Л. Б., Радиоэлектроника в биологии, Госэнергоиздат, 1963.

Купревич Н. Ф., Телевизионная техника в астрономии, Госэнергоиздат, 1958.

Харкевич А. А, О принципах построения читающих машин, «Радиотехника», 1960, № 2.

Читающие устройства, Сборник статей, Изд-во АН СССР, 1962.

Зилитинкевич С. И., Сапрыкин К. В, Телевизионный прибор для контроля поперечных размеров протягиваемого материала, Известия ВУЗов, «Приборостроение», 1958, № 1.

Левит А. Б., Телевизионная техника в системах автоматического управления производственными процессами, «Техника кино и телевидения», 1962, № 1.

Катыс Г. П., Оптические датчики температуры, Госэнергоиздат, 1959.

Цена 13 коп.